

CESAR HENRIQUE SATO DAHER

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE
CONTORNO NO ENSAIO DE REATIVIDADE POTENCIAL ÁLCALI-
AGREGADO PELO MÉTODO ACELERADO**

CURITIBA
2009

CESAR HENRIQUE SATO DAHER

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE
CONTORNO NO ENSAIO DE REATIVIDADE POTENCIAL ÁLCALI-
AGREGADO PELO MÉTODO ACELERADO**

Dissertação de Mestrado ao
curso de Pós-Graduação em
Construção Civil, do Setor de
Tecnologia da Universidade
Federal do Paraná para obtenção
do título de mestre em
Construção Civil

CURITIBA
2009

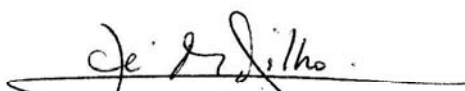
TERMO DE APROVAÇÃO

CESAR HENRIQUE SATO DAHER

**Avaliação do Grau de Influência de Parâmetros de Contorno no Ensaio de
Reatividade Potencial Álcali-agregado pelo Método Acelerado**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no
Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:**

Orientador:

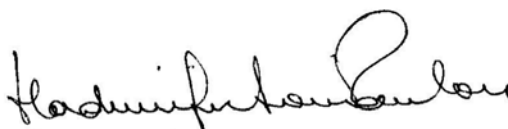


Prof. Dr. José Marques Filho
Departamento de Construção Civil, UFPR

Examinadores:



Prof. Dr. Marcos Antônio Marino
Departamento de Construção Civil, UFPR



Prof. Dr. Vladimir Antônio Paulon
Departamento de Recursos Hídricos, UNICAMP

Curitiba, 16 de abril de 2009.

“Alguém cujo espírito e força mental se fortalecem através de prática rigorosa, com uma atitude de não desanimar, não deve encontrar dificuldade em nenhum desafio, por maior que ele seja! Aquele que esta consciente de suas próprias fraquezas será senhor de si mesmo em qualquer situação. Somente uma pessoa verdadeiramente fraca é capaz de coragem verdadeira.”

Gichin Funakoshi

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à Deus pela dádiva da vida e pelas realizações que tem me permitido. Ao Prof. José Marques Filho, meu orientador, pelo grande apoio e incentivo que tem me dado desde a época da graduação. Ao colegiado deste programa de pós-graduação por permitir o meu regresso a este. Ao Prof. Paulo Roberto Chamecki e ao Eng. Plínio Hey Martins pelo apoio na viabilização do programa experimental junto ao LACTEC. Ao amigo é sócio De Luca, por todo o auxílio e compreensão ao longo desta jornada e deste novo caminho que estamos trilhando. Não poderia deixar de agradecer imensamente ao amigo Eng. Tibério Andrade pelo envio do agregado, além de material de pesquisa e grande apoio durante a realização desta. Da mesma forma, ao amigo Eng. Paulo Niebel da Votorantim Cimentos, pelo pronto apoio e disposição em fornecer o cimento empregado nesta pesquisa. Ao Eng. Leandro Sanchez pelo envio de sua dissertação de mestrado, a qual foi de grande valia. A equipe do Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME)/LACTEC, os amigos Eustáquio, Luis Fabiano, Halisson e Jeferson Luiz pelo grande profissionalismo na realização dos meus ensaios. A equipe da DAHER Tecnologia, principalmente à Eng.ª Sabrina Gralik e a todos aqueles que assumiram bravamente a responsabilidade sobre os trabalhos ocorridos durante o meu afastamento. Aos meus pais pela educação e auxílio ao longo desta jornada chamada “vida”. Ao sensei Silverio, pelos ensinamentos do caminho das mãos vazias, os quais utilizo como filosofia de vida pessoal e que foram de grande valia para a realização deste. A minha esposa Cíntia pelo incentivo, carinho e principalmente pela paciência em agüentar os momentos de minha ausência e de meu mau-humor. A minha filha Giovanna por compreender a ausência deste pai que muito a ama. Aos colegas e amigos de mestrado, Kironi, Bruno Fernandes, Bruno, Luiz Henrique, Juliana, Márcio, Rafael, Eliziane e Clara, que além de amigos se demonstraram grandes guerreiros nesta batalha que enfrentamos juntos. Aos professores e grandes amigos Paulo Helene, Antônio Carmona Filho, Thomas Carmona, Carlos Henrique Siqueira, Claudio Sbrighi Neto, Pedro Afonso de Oliveira Almeida, Carlos Roberto

Giublin, Elza Nakakura, pelo incentivo. Enfim a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente deste trabalho.

RESUMO

DAHER, C.H.S. 2009. *Avaliação do Grau de Influência de Parâmetros de Contorno no Ensaio de Reatividade Potencial Álcali-Agregado pelo Método Acelerado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR, Curitiba.

Orientador: Prof. José Marques Filho

Este trabalho avalia a influência, no resultado do ensaio de determinação do potencial reativo álcali-agregado, pelo método acelerado, dos seguintes fatores de contorno: temperatura da cura térmica inicial em água destilada, tempo de permanência em cura térmica inicial, concentração da solução de hidróxido de sódio e tempo entre a retirada das barras de argamassa da solução e suas respectivas leituras. Para tanto foi realizado um programa experimental, no qual esses fatores foram manipulados em intervalos pré-definidos, resultando em diversas combinações dos mesmos, que resultaram em diferentes expansões ao longo de 16 e 30 dias. Paralelamente, foi realizado um ensaio dentro dos padrões da NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), visando referenciar, para efeitos de comparação os resultados obtidos quando da manipulação dos fatores. Tendo em vista que a NBR 15577-4 (ABNT, 2008d) é atualmente uma das normas mais empregadas para a avaliação do potencial reativo dos agregados frente às reações álcali-agregado (HASPARYK, 1999; VALDUGA, 2007; SANCHEZ, 2008), e que os resultados de programas interlaboratoriais nacionais empregando este método, apresentaram grande variação, esta pesquisa, procurou auxiliar na definição de algumas das fontes de variação deste ensaio. Os resultados obtidos demonstraram que a temperatura da cura térmica inicial e a concentração da solução de NaOH exercem influências significativas nos resultados das expansões das barras de argamassa.

Palavras-chave: Reação álcali-agregado (RAA), método acelerado, durabilidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Geral	19
1.2.2 Específicos	20
1.3 HIPÓTESES.....	20
1.4 JUSTIFICATIVAS	20
1.4.1 Justificativa Tecnológica.....	21
1.4.2 Justificativa Econômica	22
1.4.3 Justificativa Social	23
1.4.4 Justificativa Ambiental.....	24
1.5 MÉTODO DE PESQUISA	25
1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	25
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 REAÇÃO ALCÁLI-AGREGADO.....	27
2.2 HISTÓRICO	29
2.3 TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	34
2.3.1 MECANISMOS DAS REAÇÕES	35
2.3.2 Reação Álcali-silica	35
2.3.3 Reação Álcali-silicato	40
2.3.4 Reação álcali-carbonato	43
2.4 MÉTODOS DE ENSAIO PARA A DETECÇÃO/MITIGAÇÃO DA RAA	44
2.4.1 Simulações de campo.....	44
2.4.2 Análise Petrográfica	49
2.4.3 Método Osipov	53
2.4.4 Método Químico	54

2.4.5	Método das Barras de Argamassa (MBT).....	57
2.4.6	Método dos prismas de concreto (CPT).....	58
2.4.7	Método acelerado	62
2.4.8	Método dos prismas acelerados	67
2.5	A NBR 15577-1 – DIRETRIZES NORMATIVAS NACIONAIS	68
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	73
3.1	Projeto Experimental	73
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGAGADOS	77
3.2.1	Agregado	77
3.3	CIMENTO	79
3.4	EQUIPAMENTOS EMPREGADOS	81
3.4.1	Britador.....	81
3.4.1	Balança.....	82
3.4.2	Misturador de argamassa.....	82
3.4.3	Comparador de comprimento.....	83
3.4.4	Paquímetro	83
3.4.5	Tanque de cura inicial	83
3.4.6	Tanques de cura em solução alcalina.....	84
3.4.7	Termômetro digital.....	84
3.4.8	Termo-higrômetro	85
3.4.9	Cronômetro	86
3.5	Procedimentos metodológicos	86
3.5.1	Calibração dos moldes	86
3.5.2	Preparo do agregado.....	87
3.5.3	Preparo das argamassas e moldagens das barras	89
3.5.4	Desmoldagem e identificação das barras	93
3.5.5	Cura térmica inicial, leitura de referência e início do banho em solução de NaOH.....	96
3.5.6	Acompanhamento das variações de comprimento das barras.....	99
3.5.7	Ensaio de referência	101
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	102

4.1	RESULTADOS GERAIS DAS DIFERENTES COMBINAÇÕES.....	102
4.2	RESULTADOS DO EFEITO DA TEMPERATURA DE CURA TÉRMICA INICIAL	104
4.3	RESULTADOS DO EFEITO DO TEMPO DE PERMANÊNCIA EM CURA TÉRMICA INICIAL	106
4.4	RESULTADOS DO EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO DE NaOH	109
4.5	RESULTADOS DO EFEITO DO TEMPO DE OPERAÇÃO.....	111
4.6	ANÁLISE DA VARIÂNCIA	112
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	116
	BIBLIOGRAFIA	117
	APÊNDICE A – RESULTADOS DAS EXPANSÕES PARA AS DIFERENTES COMBINAÇÕES	124
	APÊNDICE B – ALGORITMOS DE YATES E ANÁLISES DAS VARIÂNCIAS.....	140
	ANEXO I – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA PESQUISA	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhe de bloco de fundação na cidade do Recife-PE, com presença de reação álcali-agregado.	18
Figura 2 - Lei da evolução de custos, lei de Sitter.	23
Figura 3 – Thomas Stanton, precursor dos estudos de RAA.....	28
Figura 4 - Exemplo típico de estrutura deteriorada por RAA. Fonte: PETERSON <i>et al.</i> 2006.	29
Figura 5 – Fissuras típicas de expansão induzida por RAA em um bloco de fundação da ponte Paulo Guerra, em Recife-PE.	32
Figura 6 - Estrutura da sílica.	35
Figura 7 - Estrutura da sílica no plano.....	36
Figura 8 - Estrutura da sílica no plano, com moléculas de água adsorvidas na sua superfície.	37
Figura 9 - Neutralização das ligações do grupo silanol pelas hidroxilas, com posterior associação dos cátions de sódio.	38
Figura 10 - Quebra das ligações do grupo siloxano pelos íons hidroxila.	39
Figura 11 - Modelo gráfico de expansão por RAS.....	40
Figura 12 – Agregado antes da reação.	42
Figura 13 – Agregado após a reação	43
Figura 14 – Sítio experimental do BRE.	45
Figura 15 – Aspecto dos blocos sem e com substituição de cinza volante, após 11 anos.....	47
Figura 16 – Sítio experimental do CANMET.	48
Figura 17 – Sítio experimental da Usina de Jupia, laboratório de Ilha Solteira...48	
Figura 18 – Blocos pertencentes ao sítio experimental da Usina de Jupia, laboratório de Ilha Solteira.	49
Figura 19 – Exemplo de análise petrográfica em microscópio ótico.	51
Figura 20 – Exemplos de resultados do ensaio térmico.	54
Figura 21 – Moldes e sistema de leituras empregados no método CPT.	61

Figura 22 – Exemplos de acondicionamento dos recipientes de armazenamento dos prismas a temperatura de $(38\pm 2)^{\circ}\text{C}$	61
Figura 23 – Fluxograma 1 da NBR 15577-1. Fluxograma geral para uso de agregados em concreto sob o ponto de vista das reações álcali-agregado... 70	
Figura 24 – Fluxograma 2 da NBR 15577-1. Fluxograma para classificação laboratorial do agregado quanto à reação álcali-agregado.	71
Figura 25 – Fluxograma 3 da NBR 15577-1. Avaliação da eficiência de materiais inibidores da reação.	71
Figura 26 – Organograma prático das barras que sofreram cura inicial (24h-48h) a 70°C	75
Figura 27 – Organograma prático das barras que sofreram cura inicial (24h-48h) a 90°C	75
Figura 28 – Identificação das posições das barras do experimento nos tanques..	76
Figura 29 – Curva granulométrica do agregado empregado na pesquisa.	78
Figura 30 - Fotomicrografia do agregado empregado na pesquisa.	79
Figura 31 – Britador de mandíbulas empregado na redução granulométrica do agregado.....	81
Figura 32 - Balança digital de precisão, empregada nas determinações de massas dos materiais.	82
Figura 33 - Misturador planetário de argamassa empregado na confecção das argamassas.	82
Figura 34 - Dispositivo empregado na avaliação das variações de comprimento das barras de argamassa.....	83
Figura 35 – Banho termorregulador utilizado na cura térmica inicial das barras de argamassa.....	84
Figura 36 - Tanques empregados na cura das barras de argamassas, em solução da NaOH.	84
Figura 37 – Termômetro digital empregado na aferição das temperaturas dos tanques de cura em solução de NaOH.	85
Figura 38 - Termo-higrômetro empregado na avaliação das condições ambientais, das salas de moldagem e leitura.	85

Figura 39 - Cronômetro empregado na determinação dos tempos de manipulação das barras e de mistura das argamassas.....	86
Figura 40 - Aferição do comprimento efetivo de medida dos moldes.	87
Figura 41 – Fases do processo de britagem do agregado	88
Figura 42 - Peneiramento e preparo do agregado britado	89
Figura 43 – Preparo da argamassa.....	91
Figura 44 - Determinação do índice de consistência, moldagem e cura das barras	92
Figura 45 - Croqui esquemático de identificação das barras nos tanques.....	93
Figura 46 - Desfôrma das barras e sorteio das posições nos tanques para aleatorização do experimento	94
Figura 47 - Forma de identificação das barras	95
Figura 48 - Formulários empregados para anotação das leituras do experimento.	95
Figura 49 - Detalhe da barra de argamassa fraturada na desmoldagem.....	96
Figura 50 - Retirada do banho térmico, leituras de referência e imersão em solução de NaOH, das barras de argamassa.	98
Figura 51 - Introdução de barras auxiliares, para o controle do nível da solução de NaOH.	99
Figura 52 - Procedimentos diários de acompanhamento das expansões das barras de argamassa.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ocorrência de RAA no mundo.....	31
Tabela 2 – Minerais e rochas susceptíveis a RAS.....	52
Tabela 3 – Limites de fases reativas, presentes no agregado, sugeridas na NBR 15577-3, para classificá-lo como potencialmente inócuo frente a RAS.	53
Tabela 4 – Granulometria requerida para o agregado graúdo.	60
Tabela 5 – Especificações de pesquisadores para o método dos prismas acelerado	67
Tabela 6 – Classificação da ação preventiva em função do tipo de estrutura ou elemento de concreto e das condições de exposição.....	69
Tabela 7 – Medidas de mitigação especificadas na NBR 15577-1.	72
Tabela 8 – Requisitos da NBR 15577-1 para materiais inibidores da reação álcali-sílica no concreto	72
Tabela 9 – Discriminação das variáveis envolvidas no método de ensaio adotado.	74
Tabela 10 – Características físicas do agregado empregado na pesquisa.	78
Tabela 11 – Composição granulométrica do agregado empregado na pesquisa..	78
Tabela 12 – Caracterização petrográfica do agregado empregado na pesquisa..	79
Tabela 13 – Características físico-químicas do cimento empregado na pesquisa.	80
Tabela 14 – Características mecânicas do cimento empregado na pesquisa.....	80
Tabela 15 – Resultados das expansões médias para as diferentes combinações de fatores	102
Tabela 16 – Resultados das expansões médias para as diferentes condições de cura térmica inicial	104
Tabela 17 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, em cura térmica inicial as temperaturas de 70°C e 90°C.....	105
Tabela 18 - Resultados das expansões médias para as diferentes permanências em cura térmica inicial	107

Tabela 19 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, em cura térmica inicial, para os tempos de permanência de 20h e 28h.	108
Tabela 20 - Resultados das expansões médias para diferentes concentrações da solução de NaOH.....	109
Tabela 21 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, para as concentrações da solução de NaOH, em 0,9 e 1,1 N.	110
Tabela 22 - Resultados das expansões médias para diferentes tempos de operação	111

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Expansões avaliadas em bloco exposto no sítio do BRE (BRE DIGEST 330, 2004).....	46
Gráfico 2 – Comparativo entre blocos experimentais com e sem a substituição de cinza volante.....	47
Gráfico 3 – Exemplo de gráfico empregado na classificação do potencial reativo de um agregado submetido ao ensaio químico.....	56
Gráfico 4 – Estudo da temperatura empregado no desenvolvimento do método acelerado.....	63
Gráfico 5 – Estudo da concentração da solução de NaOH empregado no desenvolvimento do método acelerado	63
Gráfico 6 – Análise comparativa entre as expansões do método acelerado e do método das barras de argamassa ao longo do tempo.....	64
Gráfico 7 – Estudo do efeito da composição granulométrica na expansão pelo método acelerado.....	64
Gráfico 8 - Resultados das expansões para diferentes combinações em comparação ao ensaio padrão.....	103
Gráfico 9 – Avaliação do efeito da temperatura de cura térmica inicial nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo	105
Gráfico 10 – Regressão para o efeito da temperatura de cura térmica inicial na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.	106
Gráfico 11 – Avaliação do efeito do tempo de permanência em cura térmica inicial nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo.....	107
Gráfico 12 – Regressão para o efeito do tempo de cura térmica inicial na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.	108
Gráfico 13 – Avaliação do efeito da concentração da solução de NaOH nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo	109
Gráfico 14 – Regressão para o efeito da concentração da solução de NaOH na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.	110

Gráfico 15 – Avaliação do efeito do tempo de operação nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo.....	112
---	-----

1. INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho esta relacionada ao ensaio acelerado empregado na detecção de agregados potencialmente reativos às reações álcali-agregado (RAA) e na mitigação dos mesmos, em concretos de cimento Portland.

Sabe-se que o concreto de cimento Portland é um material composto por agregados miúdo e graúdo, cimento Portland e água, podendo ainda conter aditivos ou adições minerais, conforme especificado na NBR 12655 (ABNT, 2006).

Já agregado é o termo designado para descrever o material granular que compõe o concreto (*e.g.* areia e pedra britada). O termo agregado miúdo é utilizado para designar o material que apresenta partículas com dimensões superiores a 75 μm e menores ou iguais a 4,76 mm, enquanto o termo agregado graúdo emprega-se para agregados que tem partículas dimensões superiores a esta (ABNT, 2005).

Veiga *et al.* (1997) explica que a reação álcali-agregado trata-se de um processo químico, no qual os hidróxidos alcalinos provenientes dos cimentos, dissolvidos na solução presente nos poros do concreto, reagem com determinados componentes mineralógicos presentes em alguns tipos de agregados. Como resultado desta reação é gerado um gel higroscópico expansivo. O trabalho cita três tipos de reação conhecidos: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

Valduga (2002) afirma que perante um fenômeno de expansão, em presença de umidade, tais reações são capazes de gerar degradações aos concretos, tais como: microfissuras, perda de aderência da pasta de cimento junto aos agregados, movimentações de juntas de dilatação/contração e de concretagem, entre outras.

Nos últimos anos, o aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto é crescente (HELENE E DINIZ, 2000). De acordo com Hasparyk (2005) as reações álcali-agregado (RAA) apresentam-se como um dos processos geradores destas manifestações.

Paulon (1981), em sua pesquisa, declara não existir nenhuma informação sobre danos significativos, provenientes da reação álcali-agregado, no território nacional, até aquela data. Aproximadamente 16 anos depois, Andriolo (1997) publica um relato referente a casos de reações álcali-agregado em obras no Brasil e no mundo. Observam-se casos predominantemente em barragens e obras hidráulicas, nas quais, segundo Kihara *et al.* (1998) *apud* Sabbag (2003), no ano de 1998 já haviam ultrapassado 140 casos.

Em 2001, a foi encontrado um caso de manifestações patológicas provenientes de RAA, nas fundações da ponte Paulo Guerra em Recife-PE (ANDRADE, 2006).

Em edificações, no Brasil foram detectadas recentemente evidências desta reação em blocos de fundação de edifícios na cidade de Recife-PE, em 2005 (PECCHIO *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2006; ANDRADE, 2006). Um exemplo deste tipo de deterioração está apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Detalhe de bloco de fundação na cidade do Recife-PE, com presença de reação álcali-agregado.

Fonte: PECCHIO *et al.* 2005

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O desafio nesta pesquisa é definir a influência das variáveis de contorno, do ensaio acelerado na avaliação do potencial reativo de combinações entre cimentos e agregados. Busca-se gerar um material técnico preliminar de assessoramento ao conjunto de normas NBR 15577(ABNT, 2008), recém publicadas.

O problema resume-se em: “Qual o grau de influência, dos fatores de contorno (temperatura da cura térmica inicial em água destilada, tempo de permanência em cura térmica inicial, concentração da solução de hidróxido de sódio e tempo entre a retirada das barras da solução e suas respectivas leituras), no resultado do ensaio de determinação do potencial reativo álcali-agregado, pelo método acelerado?”.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Determinar o grau de influência, no resultado do ensaio de determinação do potencial reativo álcali-agregado, pelo método acelerado, dos seguintes fatores de contorno:

- temperatura da cura térmica inicial em água destilada;
- tempo de permanência em cura térmica inicial, concentração da solução de hidróxido de sódio e;
- tempo entre a retirada da barras de argamassa da solução e suas respectivas leituras.

1.2.2 Específicos

- Auxiliar na verificação da efetividade da norma brasileira para determinação do potencial álcali-agregado - método acelerado, NBR 15577-4 (ABNT, 2008d).
- Sugerir modificações nas amplitudes propostas pela NBR 15577-4 (*Ibid.*), se estas forem constatadas como sendo necessárias.
- Prover referências de auxílio aos programas interlaboratoriais sobre RAA.
- Oferecer dados que permitam verificar a origem de não-conformidades em ensaios acelerados.
- Gerar informações que permitam treinamento de mão-de-obra para os ensaios acelerados.

1.3 HIPÓTESES

- A hipótese principal é que a ausência de precisão nos fatores de controle do ensaio acelerado (*e.g.* temperatura do banho, concentração da solução alcalina, idade da leitura inicial, entre outros) vem a causar variações significativas no seu resultado.
- A concentração da solução de hidróxido de sódio (NaOH) exerce forte influência no resultado do ensaio acelerado.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Neste item serão apresentadas as justificativas tecnológica, econômica, social e ambiental, referentes à relevância da presente pesquisa.

1.4.1 Justificativa Tecnológica

Devido à preocupação crescente da comunidade técnica nacional com o assunto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), incorporou na revisão da norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2005), parâmetros para a detecção de agregados potencialmente reativos.

Após a ocorrência de RAA nos blocos de fundação na cidade de Recife-PE (ANDRADE *et al.*, 2006), complementando a NBR 7211, o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18), da ABNT, optou pela revisão das normas técnicas vigentes - NBR 9773 (ABNT, 1987a) e NBR 9774 (ABNT, 1987b) - relacionadas ao assunto.

Desta forma, foi publicado em abril de 2008, com vigência a partir de maio deste mesmo ano, o conjunto de normas técnicas NBR 15577 (ABNT, 2008), dividido em 06 (seis) partes, com o objetivo de auxiliar na prevenção da ocorrência de RAA.

A NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), trata do método de ensaio acelerado. Esta norma, foi concebida com base nas normas americana ASTM C 1206 (ASTM, 2005) e canadense CSA A23.2-25A (CSA, 2000).

Para subsidiar as decisões durante a execução das novas Normas Brasileiras, a Comissão de Estudo de Requisitos e Métodos de Ensaio de Agregados (CE-18:200.01), pertencente ao comitê CB-18, realizou o primeiro programa interlaboratorial de RAA, visando validar o método de ensaio proposto. Todavia, os resultados do programa apresentaram um coeficiente de variação em torno de 50%, além de resultados incoerentes, apesar de serem controlados em todos os ensaios os tipos de cimento e de agregado e sua granulometria.

A partir dos resultados insatisfatórios da comparação interlaboratorial, torna-se necessária a investigação das causas da variabilidade do método.

Devido ao grande número de variáveis influentes no método de ensaio, não há parâmetros suficientes para se assegurar a confiabilidade do método proposto. (ABNT, 2006b).

O resultado da pesquisa visa auxiliar a verificação da influência dos parâmetros de contorno, do método de ensaio em questão, visando aumentar a sua confiabilidade, através da recomendação ou não de ajustes que se façam necessários no procedimento laboratorial.

Visa ainda auxiliar na definição da escolha dos materiais a serem empregados nos concretos submetidos ao contato intensivo com a umidade, bem como, no diagnóstico da reação em estruturas de concreto confeccionadas com materiais em combinações deletérias.

1.4.2 Justificativa Econômica

De acordo com Hasparyk (2005), não se conhece uma medida eficiente e ao mesmo tempo econômica para se combater a RAA após a instalação da mesma no projeto.

Segundo Sitter (1984), os custos das medidas de intervenção em estruturas crescem em projeção geométrica de razão 05 (cinco), quando adiados em relação ao custo de uma medida preventiva na etapa de projeto. A Figura 2 abaixo permite uma melhor visualização desta lei.

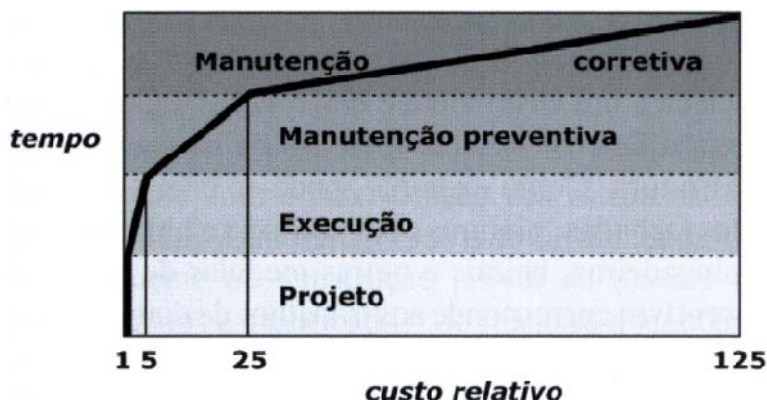


Figura 2 - Lei da evolução de custos, lei de Sitter.

Fonte: Sitter *apud* Helene e Figueiredo (2003).

Helene e Figueiredo (2003) relatam que aproximadamente 68% das manifestações patológicas, em estruturas de concreto, são causadas por falhas nas fases de planejamento e projeto. Uma vez que os resultados dos ensaios para a avaliação do potencial reativo dos agregados não sejam confiáveis, a escolha de materiais a serem utilizados na confecção de concretos estruturais seria prejudicada, não permitindo ações eficazes para a mitigação da reação deletéria.

A falta especificações adequadas quanto aos traços de concretos e as respectivas combinações de materiais a serem empregados na confecção das estruturas, geram custos elevados de intervenção, podendo ainda levar a situações que atinjam os estados limites de serviço ou até o estado limite último, que resultariam no abandono da estrutura.

1.4.3 Justificativa Social

O aspecto fissurado seja das peças atacadas diretamente pela reação álcali-agregado, ou por consequência da mesma, causam um desconforto à comunidade, por gerar uma sensação de insegurança quanto à estabilidade da estrutura, gerando um custo psico-social de consequências severas.

Vem a causar ainda, desconfianças e desconfortos entre o poder público, os responsáveis pelo empreendimento e a população, em caso de veiculação na mídia, mesmo em casos de estabilidade, muitas vezes por interesses de causas próprias pessoais ou coletivas.

A economia financeira de manutenção quando de medidas preventivas na etapa de projeto, permite empregar este capital em benefícios à sociedade.

1.4.4 Justificativa Ambiental

A reação álcali-agregado é um mecanismo causador de manifestações patológicas, que ainda não possui medidas eficazes de correção. Após o seu aparecimento, leva as obras afetadas a serem obrigadas a conviver com ela ou, nas situações mais favoráveis, aplicando-se soluções algumas mitigadoras (HASPARYK, 2006).

Estas obras apresentam sua vida útil reduzida e algumas vezes têm sua função perdida levando a precipitadas reconstruções ou desativação da estrutura (VALDUGA, 2002).

Desta forma, tanto o uso inadequado dos materiais quanto a posterior intervenção do concreto das estruturas afetadas, leva ao desperdício de recursos naturais.

A presente pesquisa auxiliará, através de um método (de ensaio) de identificação de agregados reativos, na escolha de jazidas adequadas. Evitando-se a exploração e uso ineficiente das mesmas. Reduzindo-se desta forma os impactos ambientais.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa predominantemente utilizou o método denominado “Pesquisa Experimental”, visando determinar a influência das variáveis envolvidas no ensaio acelerado (CSA, 2000; ASTM, 2005; ABNT 2006d) nos resultados do mesmo. A pesquisa experimental será do tipo fatorial 2^4 (MONTGOMERY, 1991; BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2001; RIBEIRO e TEN CATEN, 2000).

Em paralelo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica intensa, visando fundamentar os estudos, bem como, manter a pesquisa atualizada.

1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O escopo da presente pesquisa restringe-se a:

- a. estudo da reação álcali-silicato, ou seja, não serão avaliadas as reações álcali-sílica e álcali-carbonato;
- b. ao método de ensaio acelerado – NBR 15777-4 (ABNT, 2008d), o qual baseia-se nas normas C-1260, da American Society for Testing and Materials (ASTM, 2005) e A23.2-25A (CSA, 2000), da Canadian Standards Association;
- c. ao emprego de cimento de alta resistência inicial CP V-ARI-RS, dada a falta de disponibilidade do cimento padrão e por este apresentar características próximas ao especificado na NBR 15777-4 (ABNT, 2008d)
- d. ao emprego de agregado graúdo, um minolito de recife, utilizado no programa interlaboratorial da Comissão Brasileira de Estudos de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do capítulo em questão, que introduz este trabalho, o capítulo 2 apresenta o histórico da evolução da reação álcali-agregado, os conceitos básicos sobre a reação. Também se discorre sobre os ensaios empregados na detecção de agregados reativos, bem como, na de concretos com a reação instalada e na mitigação das reações.

Já o capítulo 3 apresenta o programa experimental desta pesquisa, onde são descritas as técnicas, materiais, ensaios e discriminação dos fatores empregados no programa experimental.

O capítulo 4 se detém a análise e discussão dos resultados segmentados por tratamento, e as respectivas análises. Enfatizando a influência dos fatores intervenientes no resultado da expansão das barras, pelo método acelerado.

No capítulo 5 são tecidas considerações finais a respeito dos resultados obtidos e sua comparação com as hipóteses desta pesquisa, assim como, recomendações para trabalhos que dêem continuidade a mesma.

E por fim são apresentadas as referencias bibliográficas seguida dos apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem o propósito de introduzir os conceitos básicos das reações álcali-agregado RAA, bem como, uma visão geral sobre os métodos de ensaio mais empregados na prevenção das mesmas. Inicialmente, será apresentada a definição sucinta da RAA e dos seus principais efeitos. Em seguida, será abordado o histórico da RAA, desde o seu descobrimento até os casos recentes ocorridos na cidade de Recife-PE. Após a abordagem histórica, serão apresentados os métodos de ensaio, empregados na detecção/prevenção da RAA.

2.1 REAÇÃO ALCÁLI-AGREGADO

Define-se reação álcali-agregado (RAA) como sendo a reação química que ocorre entre alguns minerais presentes nos agregados e hidróxidos alcalinos, na estrutura interna do concreto. Geralmente a principal fonte destes hidróxidos é o cimento Portland utilizado na confecção do concreto. (HASPARYK, 2005).

Alguns dos efeitos mais comuns gerados pelo efeito da expansão desta reação são microfissuras, perda de aderência da pasta de cimento junto aos agregados, movimentações de juntas de dilatação/contração e de concretagem, entre outras (VALDUGA, 2002).

Os primeiros estudos foram publicados por Tom Stanton (1940) quando de sua investigação em estruturas fissuradas (PAULON, 1981; DECHICHI, 1998, MATHER, 1999; VALDUGA, 2002; HASPARYK, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2008). A Figura 3 abaixo ilustra alguns casos demonstrados por Stanton.



Figura 3 – Thomas Stanton, precursor dos estudos de RAA.

Fonte: Califórnia Department of Transportation *apud* MEHTA e MONTEIRO (2008).

Paulon (1981) descreveu como sendo uma importante observação destes estudos, a determinação do princípio da expansão e fissuração em determinadas estruturas da Califórnia. A qual refletia a reação entre os hidróxidos alcalinos presentes nos cimentos e determinados componentes dos agregados.

As manifestações patológicas, devido a RAA, podem aparecer após alguns anos ou até mesmo após poucos dias (TAYLOR, 1990). O período normal de desenvolvimento da reação compreende-se entre cinco e doze anos (POOLE, 1992).

Fatores como a natureza e a proporção de agregados reativos, temperatura ambiente, presença e concentração de umidade, teor de álcalis no cimento, bem como, restrições físicas à estrutura de concreto influenciam diretamente a velocidade da reação e seus efeitos (VALDUGA, 2002).

A Figura 4 abaixo exemplifica um caso típico de manifestação patológica por RAA.



Figura 4 - Exemplo típico de estrutura deteriorada por RAA.

Fonte: PETERSON *et al.* 2006.

2.2 HISTÓRICO

O ano de 1935 é tido como a mais provável data da detecção do primeiro caso de RAA por Roy Jay Holden, do Instituto Politécnico da Virgínia, através de estudos petrográficos do concreto (PAULON, 1981). Entretanto, Peterson *et al.* (2006) demonstraram que a reação está presente em estruturas do fim do século XIX.

Todavia, o engenheiro Tom Stanton do departamento de auto-estradas da Califórnia é tido como o primeiro relator da RAA, quando da detecção desta reação em um pavimento de concreto da Califórnia no ano de 1940. Ao publicar o seu trabalho, Stanton *apud* Hobbs (1988) demonstrou experimentalmente que determinados tipos de agregados e cimentos com altos teores de álcalis, quando combinados em barras de argamassa acondicionadas em recipientes saturados de água, apresentavam expansão combinada com fissuração (ACI, 1998). Uma das principais conclusões de Stanton foi que a expansão era muito baixa quando se limitava o equivalente alcalino do cimento em 0,6% (HOBBS, 1988).

De acordo com Dechichi (1998), o equivalente alcalino de um cimento (também conhecido por óxido de sódio equivalente) é obtido pela seguinte expressão:

$$(\text{Na}_2\text{O})_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658. \text{K}_2\text{O} \quad [2.1]$$

Outra importante conclusão publicada por Stanton foi a prevenção de expansões excessivas da reação, quando do emprego de material pozolânico em substituição de cimentos com alto teor de álcalis (ACI, 1998).

Após a divulgação dos estudos de Stanton, a Agência Americana de Reclamação (U.S. Bureau of Reclamation) e outras instituições mundiais (*e.g.* Conselho Australiano para a Pesquisa Científica e Industrial, Comitê Nacional Dinamarquês de Pesquisa em Álcali-agregado), iniciaram estudos de investigação de RAA.

Hansen (1944) *apud* Paulon (1981); ACI (1998), embasado na hipótese da pressão osmótica gerada pela expansão do gel resultante da RAA, realizou alguns estudos que comprovaram a sua teoria para alguns minerais.

Em 1951, MacCoy e Caldwell *apud* Kawamura e Fuwa (2003) publicaram estudos sobre possíveis maneiras de se inibir a RAA. Entre elas destacavam-se o emprego de compostos de lítio.

Em 1957, foi descoberta uma forma diferente de RAA, a qual foi identificada por causar um tipo de degradação progressiva do concreto, publicada por Sweson do National Research Council of Canada. Sweson detectou que este tipo de reação somente ocorria em presença de agregados argilo-calcíticos-dolomíticos. (ACI, 1998 ; QIAN *et al.*, 2002).

O primeiro estudo sobre RAA publicado no Brasil foi desenvolvido por Gitahy *apud* Hasparyk (1999) no ano de 1963, quando da construção da barragem de Jupia. Nos estudos de avaliação dos agregados Gitahy detectou a presença de minerais reativos nos agregados, empregando medidas preventivas na construção da referida obra. (PAULON, 1981).

Paulon (1981), em sua pesquisa, declarou não existir nenhuma informação sobre danos provenientes da reação álcali-agregado no Brasil naquela data, apesar de relatar casos em outros Países.

Aproximadamente 16 anos depois, Andriolo (1997b) publica um relato referente a casos de reações álcali-agregado em obras no Brasil e no mundo.

Dechichi (1998) destaca o caso da usina hidrelétrica Apolônio Salles de Oliveira, também conhecida como barragem de Moxotó, a qual foi desativada devido às pás das turbinas entrarem em atrito com o concreto de entorno, por efeito das deformações decorrentes das reações álcali-agregado.

Observam-se casos predominantemente em barragens e obras hidráulicas, nas quais, segundo Kihara *et al.* (1998) *apud* Sabbag (2003), no ano de 1998 já haviam ultrapassado 140 casos, conforme a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Ocorrência de RAA no mundo

PAÍS	CASOS	PAÍS	CASOS
Canadá	41	Argentina	1
EUA	29	Austria	1
Brasil	20	Costa do Marfim	1
África do Sul	10	Ghana	1
Noruega	7	Inglaterra	1
França	5	Moçambique	1
Pais de Gales	5	Nigéria	1
Portugal	4	Quênia	1
Espanha	3	Romênia	1
Austrália	2	Suiça	1
Índia	2	Uganda	1
Paquistão	2	Zâmbia	1

Fonte: KIHARA *et al.* (1998).

Em 2000, Andriolo *apud* Valduga (2002), relatou 830 casos de barragens afetadas por RAA no Brasil, perfazendo um volume de concreto aproximado de 62.700.000 m³.

Nos últimos anos, devido à recente preocupação com a durabilidade das estruturas face às reações deletérias, tem-se buscado caracterizar o potencial reativo dos agregados brasileiros, regionalmente. Valduga (2002) realizou um levantamento em 26 diferentes agregados no estado de São Paulo, concluindo que aproximadamente 60% desses apresentavam resultados positivos quanto à reatividade álcali-agregado.

Em 2001 foi encontrado um caso de manifestações patológicas provenientes de RAA, nas fundações da ponte Paulo Guerra em Recife-PE (ANDRADE, 2006).



Figura 5 – Fissuras típicas de expansão induzida por RAA em um bloco de fundação da ponte Paulo Guerra, em Recife-PE.

Fonte: ANDRADE, 2006.

Andrade *et al.* (2006) publicaram o seu levantamento de alguns agregados graúdos e miúdos da Região Metropolitana do Recife, utilizando Cimento Portland com adição de filler (CP II-F). Neste estudo mais de 50% dos agregados miúdos e 75% dos agregados graúdos analisados apresentaram-se potencialmente reativos.

Já no Paraná, existem trabalhos com os agregados miúdos naturais (areias) e cimentos Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), de alta resistência inicial resistentes a sulfatos (CP V-ARI-RS) e pozolânicos (CP IV) locais (RIBEIRO, 2000; KORMANN e VALDUGA, 2006), em que foi verificada a presença de reatividade significativa para ensaios com o primeiro tipo de cimento.

Tiecher *et al.* (2006; 2007) analisaram amostras de agregados graúdos graníticos e basálticos dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul frente aos cimentos Portland CP V-ARI-RS e CP V-ARI. Nesta análise os agregados basálticos apresentaram expansões significativas para combinações com ambos os cimentos avaliados, caracterizando-se desta forma como potencialmente reativos.

Na última versão da norma NBR 7211 - Agregados para concreto (ABNT, 2005), foram inseridos parâmetros para a detecção de agregados reativos.

Em edificações, no Brasil foram detectadas recentemente evidências desta reação em blocos de fundação de edifícios na cidade de Recife-PE (PECCHIO *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2006; ANDRADE, 2006). Um exemplo deste tipo de deterioração está apresentado na Figura 1 do capítulo anterior.

Após a ocorrência de RAA nos blocos de fundação na cidade de Recife-PE (ANDRADE *et al.*, 2006), complementando a NBR 7211, o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18), da ABNT, optou pela revisão das normas técnicas vigentes - NBR 9773 (ABNT, 1987a) e NBR 9774 (ABNT, 1987b) relacionadas ao assunto. Bem como, pelo desenvolvimento de uma metodologia de ensaios baseada em métodos consagrados (ASTM 2005, CSA, 2000).

Em 2008, este trabalho resultou na publicação de um conjunto de normas visando definir os requisitos para o uso de agregados em concretos com o macro-objetivo de evitar a ocorrência de expansões devido às reações álcali-agregado: a NBR 15577, a qual é dividida em 6 (seis) partes (ABNT, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e). O objetivo principal da referida norma é atuar fortemente na mitigação da reação.

As partes quatro e cinco são a versão nacional do ensaio acelerado, sendo que, enquanto a primeira é empregada na determinação do potencial reativo de um agregado, a segunda utiliza o método para avaliar a eficiência das combinações cimento/agregados com ou sem adições na mitigação da reação.

2.3 TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação álcali-agregado divide-se basicamente em três categorias: reação álcali-sílica (RAS), reação álcali-silicato (RASL) e reação álcali-carbonato (RAC) (HOBBS, 1988; KIHARA, 1993).

2.3.1 MECANISMOS DAS REAÇÕES

Os elementos dos metais alcalinos que podem ser encontrados no concreto em concentrações apreciáveis são: o sódio (Na) e o potássio (K). Os álcalis que se fazem presentes no clínquer provêm das combinações químicas com silicatos, aluminatos e sulfatos, originados nos fornos de fabricação do cimento. Quando do contato do cimento com a água, ocorre à liberação de álcalis para a solução nos poros a taxas variáveis. A RAA é governada pelo aumento de pH da solução nos poros, devido a recombinação dos íons silicatos, aluminatos e sulfatos restantes (PREZZI *et al.*, 1997).

2.3.2 Reação Álcali-silica

A unidade básica estrutural de qualquer forma de sílica é o íon de silício Si^{4+} , circundado por 4 íons de oxigênio O^- . Este arranjo apresenta a forma de um tetraedro, conforme representado na

Figura 6 (PAULON, 1981; VAN LACK *apud* HASPARYK, 1999).

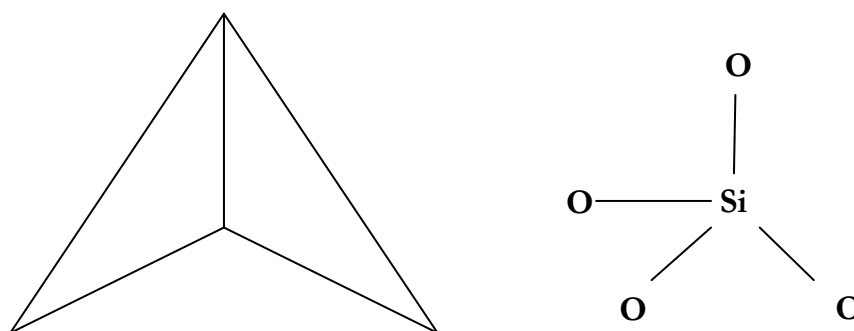


Figura 6 - Estrutura da sílica.

Fonte: HASPARYK, 1999.

As sílicas tendem a se unir de forma a produzir uma rede tridimensional, por meio de seus vértices. As sílicas cristalinas formam redes orientadas, enquanto as vítreas formam redes sem orientação (CARMAN *apud*. PAULON, 1981).

A Figura 7 a seguir mostra uma representação da estrutura da sílica no plano.

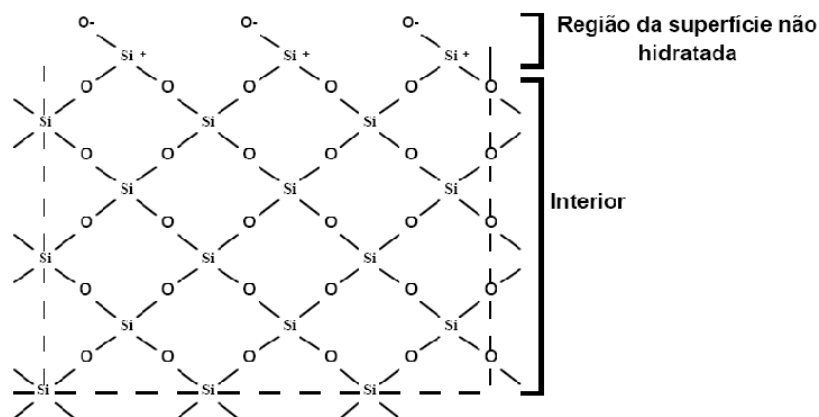


Figura 7 - Estrutura da sílica no plano

Fonte: PAULON, 1981.

Nesta representação o tetraedro pode ser visualizado com sendo um quadrado, no qual, o íon de silício encontra-se no centro e os íons de oxigênio nos quatro extremos. Percebe-se ainda que cada íon de oxigênio encontra-se ligado a dois íons de silício. O cristal de sílica é a forma tridimensional desta estrutura. (Paulon, 1981).

O equilíbrio da estrutura interna (interior) pode ser facilmente verificado. Cada íon de silício está ligado a quatro íons de oxigênio e estes por sua vez a dois íons de silício. Todavia, para que a composição química do cristal de sílica seja SiO₂ os tetraedros que formam a superfície do cristal não podem encontrar-se em equilíbrio (*Ibid.*).

Desta forma, na superfície do cristal (região não hidratada), cada íon oxigênio encontra-se ligado a somente um íon de sílica (interno), o que leva a um desequilíbrio negativo de carga no sistema. O mesmo ocorre com cada íon de silício que se encontra na superfície, gerando um desequilíbrio positivo de carga (*Ibid.*).

Quando a água entra em contato com a superfície do cristal, esta é adsorvida sem maiores dificuldades. Seu íon positivo de hidrogênio entra em contato com o íon oxigênio da superfície, enquanto o íon negativo de hidroxila (OH^-) entra em contato com o íon de silício. Desta maneira, o tetraedro silício-oxigênio fica completo, porém apresentando uma camada superficial de grupos (OH). A Figura 8 ilustra esta situação (*Ibid.*).

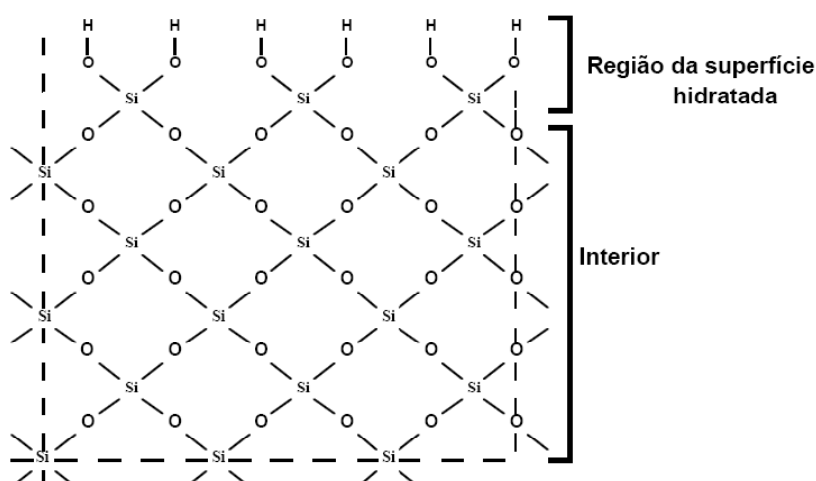


Figura 8 - Estrutura da sílica no plano, com moléculas de água adsorvidas na sua superfície.

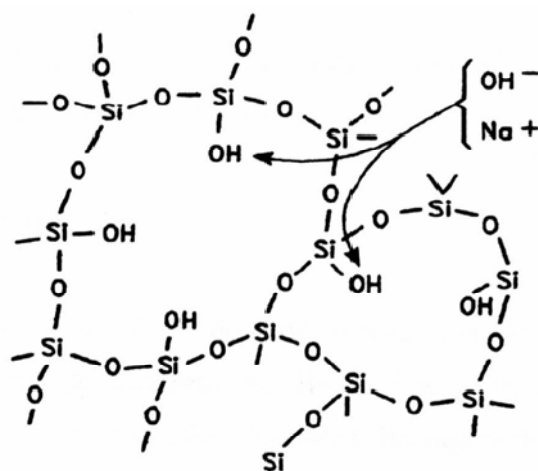
Fonte: PAULON, 1981.

Portanto, quanto maior a superfície do cristal de sílica, maior a adsorção de água. Nesta adsorção, o íon de hidrogênio da água apresenta uma ligação ao íon oxigênio da sílica mais fraca que a do grupo (OH) como um todo (*Ibid.*).

Sendo assim, em um meio aquoso a sílica hidratada ioniza-se, produzindo íons de hidrogênio livres. O que torna a superfície da sílica fracamente ácida. Entretanto, quanto maior for a superfície da sílica (i.e. mais subdividas forem as partículas), maior será a adsorção de água. Conseqüentemente, maior será o número de hidrogênios livres e maior a reatividade da sílica (*Ibid.*).

O princípio da reação álcali-silica, segundo Turrizini *apud* Hasparyk (2005) está baseado numa reação inicial do tipo ácido-base, na qual os íons hidroxilas (OH^-) atacam as ligações do grupo silanol (Si-OH), neutralizando-as.

Posteriormente o cátion de sódio (Na^+), associa-se a estrutura formando um gel sílico alcalino, balanceando a carga negativa dos íons de hidrogênio. A Figura 9 representa este mecanismo.



reação do tipo ácido-base: $\text{Si-OH} + \text{OH}^- \Rightarrow \text{Si-O}^- + \text{H}_2\text{O}$

reação secundária: $\text{Si-O}^- + \text{Na}^+ \Rightarrow \text{Si-O Na}$

Figura 9 - Neutralização das ligações do grupo silanol pelas hidroxilas, com posterior associação dos cátions de sódio.

Fonte: HASPARYK, 2005.

Os íons hidroxilas em excesso atacam o grupo siloxano (Si-O-Si), desintegrando a sua estrutura, transformando-a em pares de SiO^- . Deixando assim, em um ambiente com pH elevado, solubilizado o ácido ortosilícico (H_2SiO_4), possibilitando a adsorção de água e dos íons alcalinos. (HASPARYK, 2005). Este processo pode ser visualizado na Figura 10.

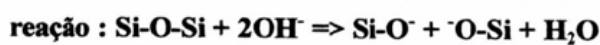
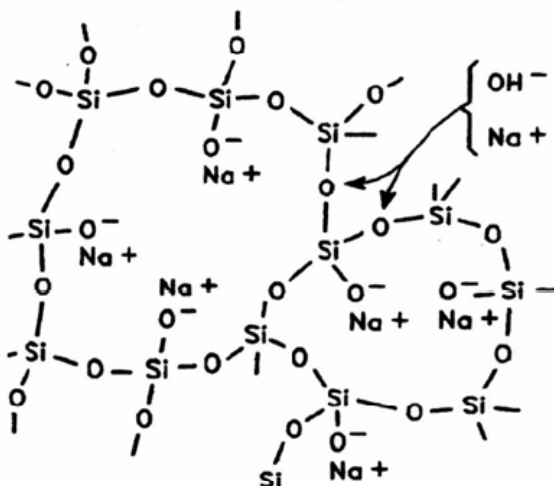


Figura 10 - Quebra das ligações do grupo siloxano pelos íons hidroxila.

Fonte: HASPARYK, 2005.

O gel silicato alcalino formado pelo balanceamento das cargas negativas, pelos cátions (Na^+) e (K^+), apresenta a possibilidade de incorporar íons de cálcio (Ca^{2+}), (Knudsen & Thaulow, Glasser, Taylor *apud*. HASPARYK, 2005). O que demonstra que a composição química do gel pode adquirir uma composição química variável e indefinida (POOLE *apud*. HASPARYK, 2005).

Quando o gel apresentar um alto teor de cálcio, este passa a ser classificado como não expansivo em presença de água (FERRARIS, 2000). Todavia, quando da ausência de cálcio na solução básica, o gel apresenta expansão pela absorção de água, resultando em uma expansão e conseqüente geração de pressão na região circundante (PAULON, 1981). Uma estimativa dessa pressão expansiva em torno de 2,2 a 10,3MPa, foi demonstrada por Prezzi *et al. apud*. Rodrigues, Monteiro e Sposito (1999).

A Figura 11 demonstra um modelo geral de expansão por RAS proposto por Hobs (1988).

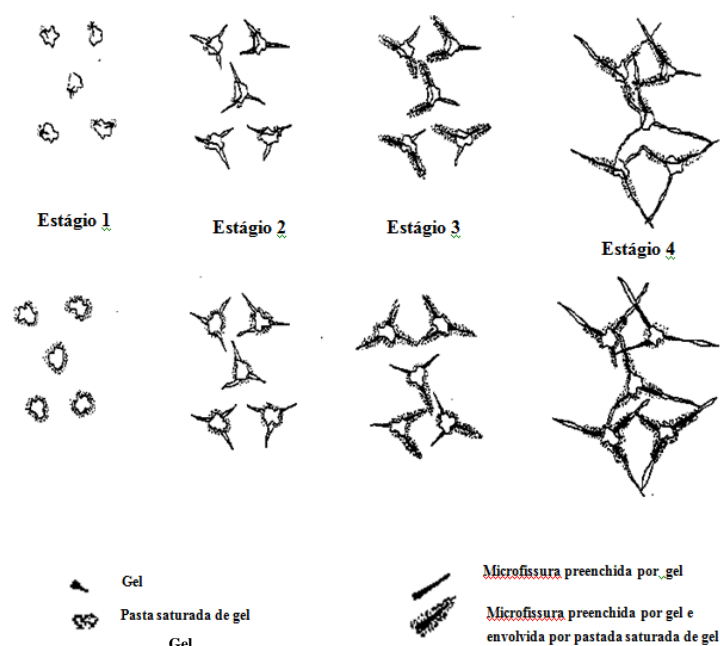


Figura 11 - Modelo gráfico de expansão por RAS

Fonte: HOBBS, 1988.

No primeiro estágio, são geradas tensões internas devido à expansão do gel sem a ocorrência de microfissuras. No segundo estágio, ocorre o aumento das fissuras de forma a causar microfissuras no entorno das partículas reativas. No terceiro estágio, há a migração de gel para o interior das microfissuras com pequena redução das tensões internas. No quarto estágio, se fazem presentes grandes tensões no interior das microfissuras preenchidas com gel, causando a abertura das mesmas, podendo gerar expansões significativas (*Ibid.*)

2.3.3 Reação Álcali-silicato

Considera-se a reação álcali-silicato, o tipo de RAA, de maior ocorrência em estruturas deterioradas no Brasil (KIHARA, 1986; VALDUGA, 2000).

É um tipo de RAA que ocorre entre os álcalis presentes na solução dos poros do concreto, as hidroxilas e os silicatos presentes em (HOBBS, 1998; VALDUGA, 2000):

- Determinadas rochas sedimentares, tais como siltitos, argilitos, folhelhos argilosos, e grauvacas;
- Determinadas rochas metamórficas (*e.g.* gnaiss e quartzitos);
- Determinadas rochas magmáticas (*e.g.* granitos).

Apesar de existir uma variedade de agregados que podem participar da reação, a reação álcali-silicato ocorre principalmente quando da presença do quartzo “tensionado” devido a processos tectônicos ou metamórficos. Ou ainda, pela existência de minerais do grupo dos filossilicatos (*e.g.* montmorilonitas, vermiculitas e ilitas) (KIHARA, 1986).

Em contato com soluções alcalinas ou por incorporação de água, os minerais do grupo dos filossilicatos, podem sofrer esfoliações de forma a gerar tensões de expansão suficientes para promover fissuração no concreto (KIHARA, 1986; HOBBS, 1988).

De acordo com Regourd *apud* Hasparyk (1999, 2005) a reação álcali-silicato apresenta o mesmo princípio da reação álcali-sílica. Todavia, uma vez que os minerais reativos encontram-se mais distribuídos na matriz (retículo cristalino), a reação ocorre mais lentamente.

Os feldspatos e folhelhos argilosos a temperatura de 95°C reagem com o hidróxido de cálcio resultando na produção de silicatos de cálcio hidratado e álcalis. Os feldspatos alcalinos a 39°C produzem aluminatos tetracálcicos hidratados e álcalis e/ou silicatos alcalinos. Já os feldspatos ricos em cálcio produzem aluminatos tetracálcicos hidratados e significativa quantidade de sílica. (VAN ARDT e VISSER *apud* PAULON, 1981).

A teoria de VAN ARDT e VISSER (*apud* PAULON, 1981; HASPARYK 1999) denominada “Solution Theory” tenta explicar o fenômeno da reação álcali-silicato:

Durante as primeiras idades do concreto, é formada uma camada de aderência ao redor de um grão do agregado contendo feldspato alcalino (Figura 12). Ao longo do tempo e na presença de umidade, ocorrerá a reação entre o CH e o feldspato. Além disso, a cal que poderá penetrar no agregado também reagirá. Estas reações levarão a liberação de álcalis na forma de KOH, NaOH e/ou silicatos de potássio e sódio, sendo este último na forma de gel parcialmente solúvel em água. Quando os álcalis atingem uma certa concentração, os silicatos de cálcio, responsáveis pela aderência, tenderão a se dissolver em silicatos de potássio e sódio formando um vidro ou gel que possuirá cálcio, potássio, sódio e sílica ao seu redor, podendo se estender até o interior do agregado. Este vidro ou gel é parcialmente solúvel em água e conseqüentemente um péssimo elemento de ligação, especialmente considerando que ele pode expandir ou contrair com o ganho ou perda de água. Nesta situação, existirá um vidro ou gel semilíquido de baixíssima resistência, conforme pode ser observado na Figura 13 (VAN AARDT e VISSER *apud* HASPARYK, 1999).

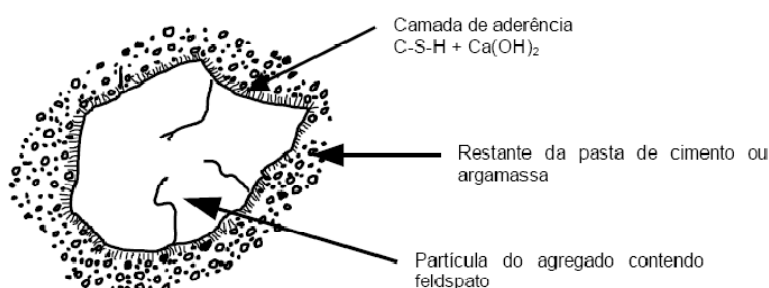


Figura 12 – Agregado antes da reação.

Fonte: PAULON, 1981; HASPARYK, 1999

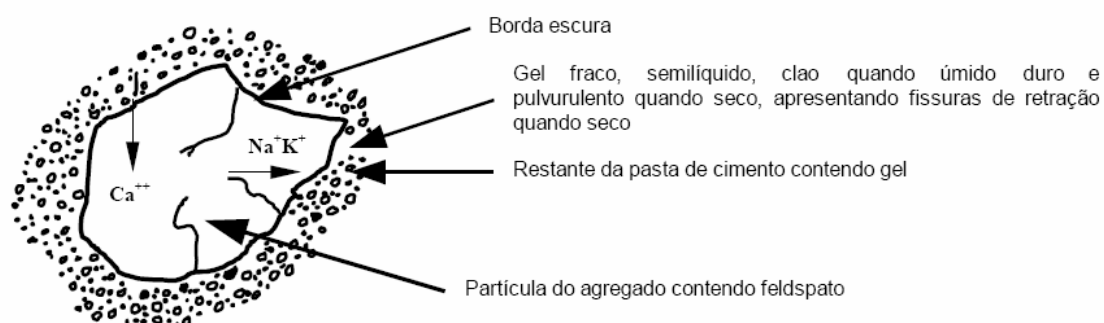


Figura 13 – Agregado após a reação

Fonte: PAULON, 1981; HASPARYK, 1999

A velocidade da reação é influenciada pela finura dos feldspatos. Mesmo sem a ação das intempéries, quanto maior for a superfície específica dos grãos de feldspatos, maior será a velocidade da reação com o hidróxido de cálcio (PAULON, 1981).

2.3.4 Reação álcali-carbonato

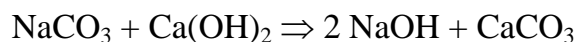
A reação álcali carbonato é completamente distinta das reações álcali-silicato e álcali-sílica (PAULON, 1981). Ocorre quando as hidroxilas dos álcalis regem com agregados carbonáticos dolomíticos ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) contendo impurezas argilosas (VALDUGA, 2000).

O ataque dos álcalis as rochas carbonáticas é denominado de **desdolomitização**, conforme a reação química abaixo (BIZCOK *apud* HASPARYK, 1999).



Uma vez formado o carbonato alcalino pela reação de desdolomitização, este reage com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, formando

novos hidróxidos alcalinos, conforme equação a seguir. Gerando desta forma um processo contínuo de reações, até que os compostos sejam totalmente consumidos (*Ibid.*).



Outra possibilidade para a reação de desdolomitização é a proposta por Taylor *apud* Valduga (2002), a qual trata-se de uma reação entre os íons hidroxilas e certos agregados que contém a dolomita, conforme a equação abaixo.



2.4 MÉTODOS DE ENSAIO PARA A DETECÇÃO/MITIGAÇÃO DA RAA

Existe um significativo número de métodos de ensaio para se avaliar a reatividade dos agregados na formação de RAA, bem como para se prever a eficiência adições de sais de lítio, pozolanas e escórias no controle da expansão por RAA. Ou mesmo o teor ótimo destas adições (Thomas *et al.*, 2006).

De acordo com Thomas *et al.*(2006) não existe método de ensaio totalmente confiável e sensível o suficiente na previsão de ocorrência de RAA, ou então em que apresente um tempo hábil para decidir a escolha dos materiais à serem empregados na confecção dos concretos.

2.4.1 Simulações de campo

A monitoração em campo de blocos de concreto representa um bom processo de se avaliar a reatividade em reações álcali-agregado. Sítios experimentais têm sido desenvolvidos para se avaliar as reações (*Ibid.*).

Entre os sítios experimentais, pode-se exemplificar o *Building Research Establishment* (BRE), localizado no Reino Unido. Neste sítio tem sido desenvolvidas pesquisas de RAA, através do monitoramento em blocos cúbicos de concreto com grandes dimensões (de 35cm a 90cm de aresta) (*Ibid.*).

Estes blocos são apoiados diretamente no solo ou com suas bases imersas em reservatórios de água, com colunas de água de 2,5cm a 5,0cm, conforme se pode visualizar na Figura 14.

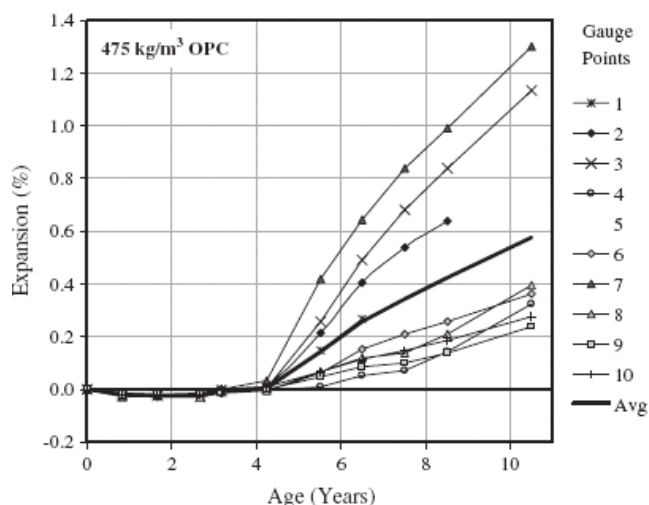


Figura 14 – Sítio experimental do BRE.

Fonte: THOMAS *et al.*, 2006.

Alguns dos blocos, com 90cm de aresta, foram confeccionados com o emprego de cimento com alto teor de álcalis, cerca de 1,15% de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ e consumo de 475kg/m³. Foi empregado ainda areia de rocha reativa, em teor de 25% da massa total de agregados. Cada bloco foi instrumentado com 10 pontos de medição de deformação. O Gráfico 1 demonstra os resultados das expansões em um desses blocos após um período de 10 anos de avaliação.

Gráfico 1 – Expansões avaliadas em bloco exposto no sítio do BRE (BRE DIGEST 330, 2004).



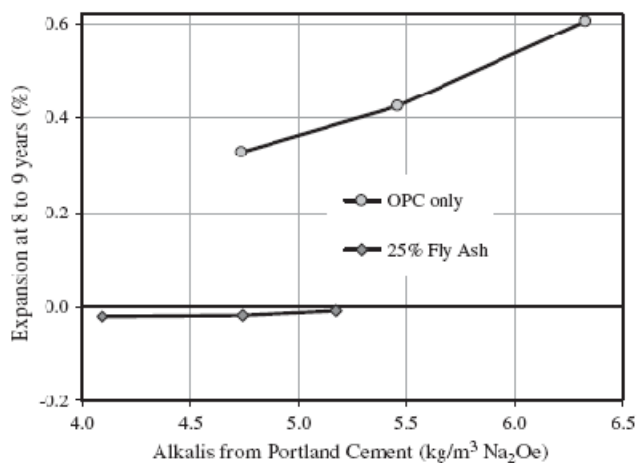
Fonte: THOMAS *et al.*, 2006.

No Gráfico 1 pode-se perceber que as expansões apresentam uma amplitude significativa (aproximadamente 1%). Este fato se explica devido às diferentes condições de exposição (temperatura, insolação, vento, etc.) das faces instrumentadas do bloco (THOMAS *et al.*, 2006).

Outros blocos foram monitorados de forma similar. Nestes, o concreto foi confeccionado com a substituição parcial de cimento por 25% de cinza volante com baixo teor de cálcio. O Gráfico 2 apresenta um comparativo entre as médias das expansões dos blocos com e sem a substituição de cimento por cinza volante.

Os aspectos dos blocos sem e com cinza volante podem ser visualizados na Figura 15.

Gráfico 2 – Comparativo entre blocos experimentais com e sem a substituição de cinza volante.



Fonte: BRE DIGEST 330, 2004 *apud* THOMAS *et al.*, 2006.

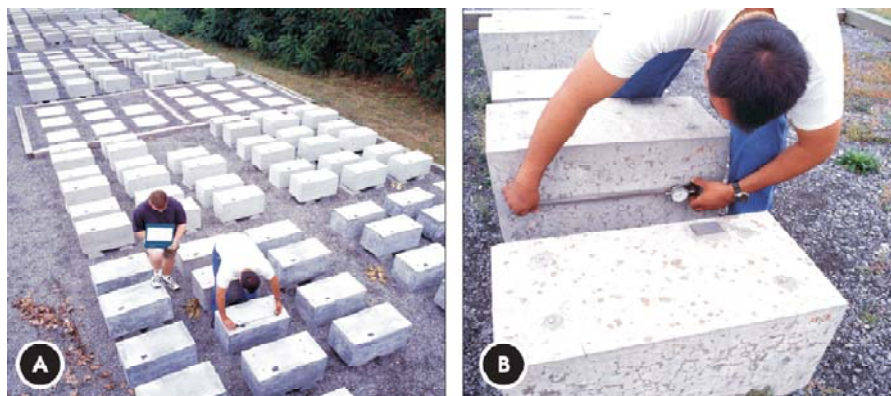


Figura 15 – Aspecto dos blocos sem e com substituição de cinza volante, após 11 anos

Fonte: BRE DIGEST 330, 2004 *apud* THOMAS *et al.*, 2006.

Com base nas figuras anteriores, pode-se perceber o efeito benéfico da cinza volante em relação à inibição da RAA.

Avaliações de mesma natureza foram realizadas no Canadá, no sítio de exposição do *Centre for Mineral and Energy Technology* (CANMET), em um período de aproximadamente 10 anos, conforme Figura 16 (THOMAS *et al.*, 2006; FOURNIER *et al.* 2006).



[a] sítio experimental do CANMET, vista geral; [b] mensuração da expansão em um dos blocos do sítio, tomada lateralmente.

Figura 16 – Sítio experimental do CANMET.

Fonte: FOURNIER *et al.*, 2006.

No Brasil, estudos similares foram iniciados no laboratório de concreto de Ilha Solteira (Figura 17), em que se executaram diversos blocos, com diferentes combinações agregados/aglomerantes, expostos às intempéries, e acompanhamento visual e mensuração das deformações ao longo dos anos (PAULON, 1981).

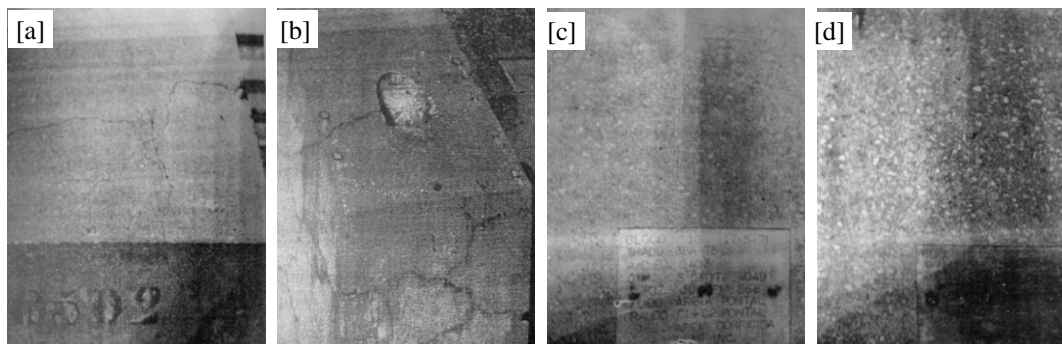
Posteriormente, Oliveira, Salles e Andriollo (1997), apresentaram os resultados deste mesmo estudo após vinte e cinco anos de observações.

Nestes estudos, também se pode comprovar a eficiência do emprego de materiais pozolânicos em substituição ao cimento na mitigação da RAA, conforme se observa na Figura 18(*Ibid.*).



Figura 17 – Sítio experimental da Usina de Jupiá, laboratório de Ilha Solteira.

Fonte: OLIVEIRA, SALLES e ANDRIOLLO (1997)



[a] bloco com a utilização de agregado reativo e sem emprego de material pozolânico, em 1974; [b] o mesmo bloco 23 anos mais tarde. [c] bloco com a utilização de agregado reativo e de material pozolânico, em 1974; [d] o mesmo bloco 23 anos mais tarde.

Figura 18 – Blocos pertencentes ao sítio experimental da Usina de Jupia, laboratório de Ilha Solteira.

Fonte: OLIVEIRA, SALLES e ANDRIOLLO (1997)

Estes métodos de avaliação em sítios experimentais tem se demonstrado bastante eficazes na avaliação da reatividade potencial. Todavia o período de tempo da avaliação é demasiado longo, para se antever o uso de combinações cimento, agregados e potenciais inibidores, na confecção de concretos.

2.4.2 Análise Petrográfica

Este método é empregado para avaliar a presença de materiais reativos nos agregados a serem empregados no concreto (ABNT, 1992; ASTM, 2003; ABNT, 2008c) ou em amostras de concreto, pertencentes ou não a estruturas que possuam instaladas, ou que possam vir a sofrer a reação álcali-agregado (ASTM, 2004).

De acordo com Vieira e Oliveira (1997), o primeiro método de análise petrográfica para a avaliação da reatividade potencial de rochas à RAS, foi o método proposto em 1981 por Dólar-Mantuani, o qual se baseava no ângulo de extinção do quartzo pela expressão da deformação de seu retículo cristalino.

Posteriormente o método foi questionado por Grattan-Bellew *apud* Vieira e Oliveira (1997), pois destacavam que o desencadeamento da RAA era muito mais influenciado pela presença de quartzo fino do que a deformação materializada pelo seu ângulo de extinção.

French *apud* Vieira e Oliveira (1997), complementaram as colocações de Grattan-Bellew, com a importância das estruturas porosas ou microfissuradas decorrentes da atuação de processos geológicos ou da britagem dos agregados.

Ainda Vieira e Oliveira (1997), reforçam a importância de se determinar outros parâmetros (*e.g.* textura da rocha, granulação), além do ângulo de extinção, neste tipo de análise, uma vez que, são comuns ângulos entre 15° e 25° em agregados graníticos e gnáissicos brasileiros, os quais o método proposto por Dolar-Matuani, não propõe classificação.

No caso dos agregados, atualmente os ensaios baseiam-se em análises macro e microscópicas (em lâminas delgadas) que podem vir a serem complementados com análises de difração de raios-X (DRX), análise termodiferencial (ATD), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de raios-X por energia dispersiva (EDX) (HASPARYK, 1999; ABNT 2008c).

Nas técnicas de microscopia, geralmente emprega-se tanto a estereoscópica (luz refletida) quanto a ótica (luz transmitida) (HASPARYK, 1999; VALDUGA, 2002; SANCHEZ, 2008; ABNT 2008c).

O ensaio fornece principalmente a descrição mineralógica, textural e estrutural do agregado, visando demonstrar a presença ou não de minerais deletérios (ASTM 2003; SANCHEZ, 2008; ABNT 2008c).

A Figura 19 a seguir, exemplifica a visualização do resultado de uma análise microscópica de diferentes agregados, em amostras de lâminas delgadas de 30µm, com o emprego de luz polarizada em microscópio ótico.

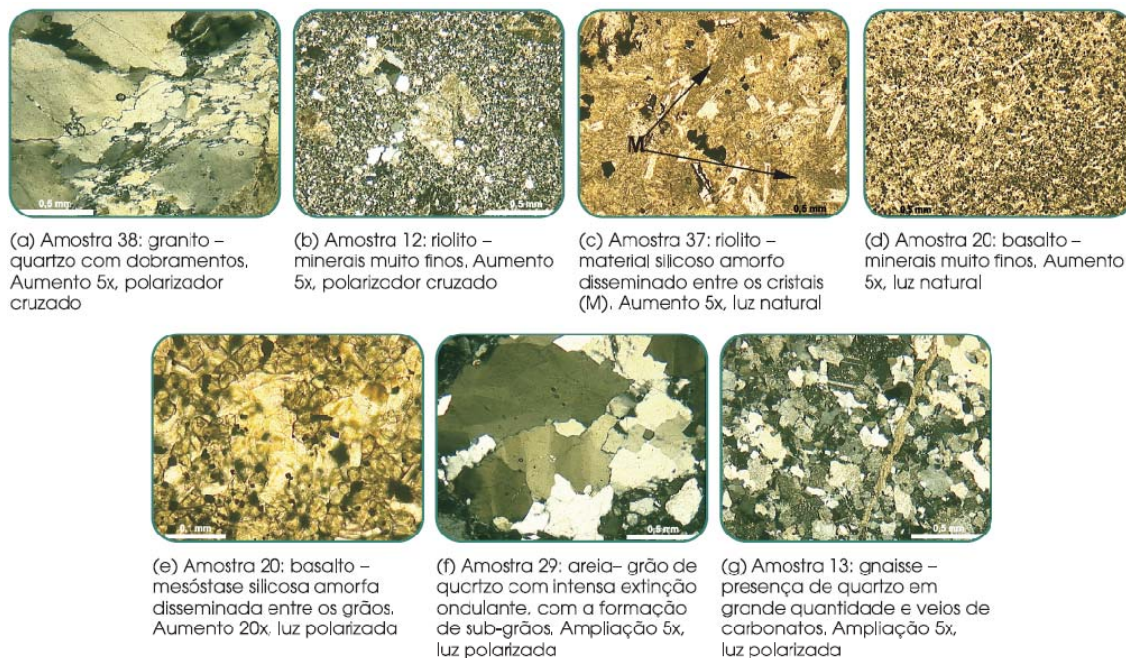


Figura 19 – Exemplo de análise petrográfica em microscópio ótico.

Fonte: TIECHER *et al.* (2007).

A NBR 15577-3 (ABNT, 2008c), traz os termos e definições mais usuais tanto para as texturas quanto para os minerais, bem como em seu anexo A, uma relação de minerais e rochas suscetíveis a reação álcali-agregado, conforme reproduzido a seguir na Tabela 2.

O mesmo ocorre com a norma C-294 (ASTM, 2005), a qual é voltada especificamente a estes termos e definições.

Tabela 2 – Minerais e rochas susceptíveis a RAS.

Minerais reativos, com cristalinidade baixa ou sílica meta-estável e vidros vulcânicos		
Material reativo	Rochas de ocorrência	
	Rochas sedimentares	Rochas vulcânicas
Opala, tridimita ou cristobalita, vidro vulcânico ácido, intermediário ou básico	Rochas sedimentares contendo opala, como folhelho, arenito, rochas silicificadas, alguns cherts e flints e diatomito	Rochas vulcânicas com vidro ou vitrofíricas: rochas ácidas, intermediárias ou básicas como riolito, dacito, latito, andesito, tufo, perlita, obsidiana e todas as variedades contendo uma matriz vítrea, alguns basaltos
Rochas reativas contendo quartzo		
Material reativo	Tipos de rocha	
Calcedônia, quartzo micro e criptocristalino. Quartzo macrogranular, com o retículo cristalino deformado, rico em inclusões, intensamente fraturado, com quartzo microcristalino no contato do grão	Chert, flint, veio de quartzo, quartzito, quartzo arenito, arenito quartzoso, calcário silicoso Rochas vulcânicas com vidro devitrificado micro ou criptocristalino Rochas micro ou macrogranulares que contenham quartzo micro ou criptocristalino ou quantidade significativa de quartzo moderadamente ou intensamente tensionado: <ul style="list-style-type: none"> – rochas ígneas: granito, granodiorito e charnockito – rochas sedimentares: arenito, grauvaca, siltito, argilito, folhelho, calcário silicoso, arenito e arcóseo – rochas metamórficas: gnaiss, quartzo-mica xisto, quartzito, filito, ardósia 	

Fonte: ABNT, 2008c.

Uma inovação importante quanto à nova normalização vigente, é a classificação do agregado através da análise petrográfica, como sendo potencialmente inócuo ou potencialmente reativo. Sugere ainda, limites para a classificação, em função do teor máximo de materiais reativos presentes no agregado, conforme a Tabela 3 (ABNT, 2008c).

Já a NBR 7389 (ABNT, 1992), encontra-se até a presente data em revisão pelo CB-18.

Tabela 3 – Limites de fases reativas, presentes no agregado, sugeridas na NBR 15577-3, para classificá-lo como potencialmente inócuo frente a RAS.

Material reativo	Teor máximo para classificar o agregado como sendo potencialmente inócuo a RAS
Quartzo deformado	5% (cinco por cento)
Calcedônia	3% (três por cento)
Tridimita ou cristobalita	1% (um por cento)
Vidro Vulcânico	3% (três por cento)
Opala	0,5% (meio por cento)
Com base na experiência e nas feições presentes, poderá o petrógrafo responsável pela análise, admitir limites distintos.	

Fonte: ABNT, 2008c.

Apesar de bastante válido como uma análise qualitativa do potencial reativo do agregado, Kuperman *et. al.*(2005) relatam que se faz necessária a realização do ensaio por petrógrafo experiente, que possua a habilidade de classificar o potencial reativo de um agregado e não somente identificar os minerais presentes.

Conforme descrito na NBR 15577-1 (ABNT, 2008):

A análise petrográfica e a caracterização mineralógica isoladas não são suficientes para avaliar a expansão potencial deletéria devida à reação álcali-agregado, mas fornecem informações importantes para essa avaliação.

2.4.3 Método Osipov

Este método, desenvolvido pelo Engenheiro Albert Osipov, do *Institute Hidroproject* de Moscou, é também denominado de método térmico (ANDRIOLO, 1997a; DA SILVA *et. al.*, 1997; VALDUGA, 2002, SABBAG 2003; SANCHEZ, 2008; VALDUGA, 2008).

O procedimento de ensaio consiste na submissão das partículas de agregado, com diâmetro entre 20 mm e 50 mm à temperatura aproximada de 1000°C durante 60 segundos. Desta forma, os agregados, que apresentarem fragmentação de suas partículas após o ensaio, são classificados como sendo reativos frente aos álcalis (*Ibid.*).

A desvantagem do método está no fato de que, os agregados que não sofrem fragmentação, não são classificados como não reativos, devendo ser avaliados por outros métodos. Outra desvantagem é a que o ensaio não é aplicável aos agregados miúdos.

A Figura 20 exemplifica diferentes resultados deste ensaio.



[a] agregado fraturado após o ensaio; [b] agregado não fraturado após o ensaio.

Figura 20 – Exemplos de resultados do ensaio térmico.

Fonte: ANDRIOLLO (1997a)

2.4.4 Método Químico

Esse método, também conhecido como ensaio químico rápido, foi desenvolvido por Richard Mielenz, entre os anos de 1947 e 1952, tendo sido empregado no mapeamento de agregados deletérios em regiões dos Estados Unidos (ANDRIOLO, 1997a).

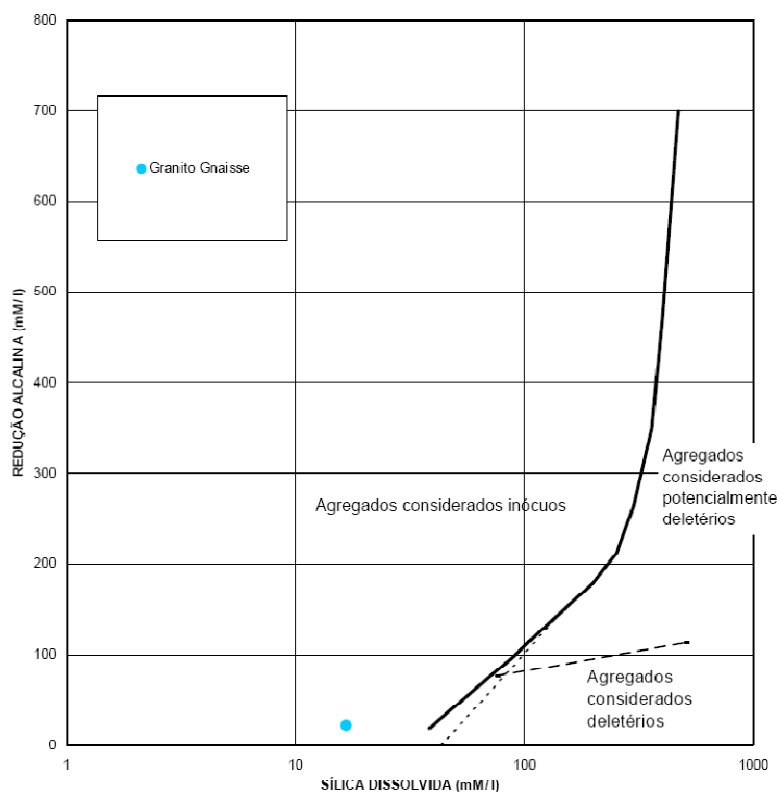
Trata-se de um método empregado na avaliação potencial álcali-sílica de um agregado, com base na relação entre a sílica dissolvida (Sd) e a redução de alcalinidade (Rc) da solução de NaOH, a qual o agregado é submetido. (PAULON, 1981; ANDRIOLO, 1997a, DA SILVA *et. al.*, 1997; HASPARYK, 1999; VALDUGA, 2002, SABBAG, 2003, SANCHEZ 2008, VALDUGA, 2008).

Os procedimentos metodológicos são descritos na norma C 289 (ASTM, 2003) e na antiga NBR 9774 (ABNT, 1987), a qual foi cancelada em dezembro de 2008.

O procedimento consiste basicamente na imersão de uma pequena fração de agregado passante na peneira 0,3mm e retida na peneira 0,15mm, durante 24 horas, em uma solução de NaOH, à concentração de 1N (um normal) e em temperatura de 80°C. Posteriormente, através de processos de gravimetria ou fotometria, a solução é titulada determinando-se a redução de sua alcalinidade, assim como, após a filtração é determinada quantidade de sílica dissolvida.

Plotando-se a relação Sd/Rc, em um gráfico, pode-se classificar o agregado como sendo inócuo, potencialmente deletério, ou deletério. Um exemplo de resultado deste ensaio pode ser visualizado no Gráfico 3

Gráfico 3 – Exemplo de gráfico empregado na classificação do potencial reativo de um agregado submetido ao ensaio químico.



Fonte: SALLES *et al.*, 2006.

A principal vantagem deste ensaio é a velocidade de execução. Entretanto, muitas vezes não reproduz resultados confiáveis, o que muitas vezes, torna necessária a avaliação complementar através de outros métodos.

Como exemplo, Valduga (2002), em sua avaliação dos agregados do estado de São Paulo, demonstrou que uma grande maioria dos agregados avaliados como sendo potencialmente reativos, foram classificados como inócuos quando submetidos ao ensaio químico.

2.4.5 Método das Barras de Argamassa (MBT)

Método provavelmente originado dos estudos de Tom Stanton, entre os anos de 1942 e 1947 (PAULON, 1981; THOMAS *et al.*, 2006).

O método é descrito na norma C-227 (ASTM, 2003) e na antiga NBR 9773 (ABNT, 1987a), atualmente cancelada e substituída pela NBR 15577-4 (ABNT, 2008d).

Entretanto a NBR 15577-4, não traz a mesma metodologia de ensaio, como será visto no item 2.4.7.

O procedimento de ensaio consiste na confecção de barras de argamassa, com composição (traço) e índice de consistências bem definidos, submetidas em atmosfera saturada de vapor de água, em recipiente hermeticamente fechado à temperatura de 38°C. As barras têm então seus comprimentos e respectivas expansões avaliadas ao longo do tempo (PAULON, 1981; ANDRIOLO, 1997a, DA SILVA *et. al.*, 1997; HASPARYK, 1999; VALDUGA, 2002, SABBAG, 2003, VALDUGA, 2007; SANCHEZ 2008).

Na norma C-33 (ASTM, 2003), sugere-se que as expansões são consideradas excessivas quando superam, respectivamente, 0,05% aos 3 (três) meses e 0,10% aos 6 (seis) meses de idade.

Entretanto não são consideradas expansões excessivas, quando estas ficam abaixo de 0,10% aos 6 (seis) meses de idade, mesmo que superem 0,05% aos 3 (três) meses (*Ibid.*)

Segundo Kuperman *et al.* (2005), uma das vantagens principais do método encontra-se em seu reduzido custo. Entretanto, possui as desvantagens de possuir um longo período para análise dos resultados e apresentar respostas sem muita confiabilidade.

Ainda segundo Kuperman *et al.* (2005), a falta de confiabilidade nos resultados devem-se à:

- Excesso de lixiviação dos álcalis presentes nas argamassas das barras;
- Composição granulométrica dos agregados britados, não reproduz a realidade;
- Falha na detecção de agregados que apresentam reatividade lenta.

Devido à falta de representatividade do ensaio frente a alguns agregados lentamente reativos, como certos tipos de gnaisses, argilitos, quartzitos, grauvacas, o ensaio não é recomendado para identificar o potencial reativo de um agregado, bem como, o nível de prevenção para mitigar a expansão (THOMAS *et al.*, 2006).

2.4.6 Método dos prismas de concreto (CPT)

Este método é descrito pelas normas, canadense A.23.2-14A (CSA, 2000) e americana C-1293 (ASTM, 2005). Este método ganhou a sua versão nacional, recentemente, com a publicação da NBR 15577-6 (ABNT, 2008f).

Segundo Thomas *et al.* (2006), devido a falta de representatividade nos resultados do método das barras de argamassa (item 2.4.5), o método foi criado visando identificar rochas potenciais às reações álcali-sílica e álcali-carbonato, na cidade de Ontário no Canadá.

Em sua primeira versão, eram confeccionados prismas de concreto, com consumo de cimento de 310kg/m^3 . Os quais eram armazenados em câmara úmida à temperatura de 23°C . (*Ibid.*).

Para um agregado ser considerado potencialmente reativo, a expansão média dos prismas, no ensaio, deveria ultrapassar o limite de $0,020\%$, após um período de armazenamento de 84 dias (*Ibid.*).

Este ensaio vem sendo calibrado continuamente em função das observações do desempenho dos agregados no campo e das condições de ensaio, visando garantir a identificação de todos os agregados reativos (*Ibid.*).

A NBR 15577-6 (ABNT, 2008f), preconiza as seguintes condições para a avaliação do potencial reativo dos agregados:

- Dimensão máxima do agregado graúdo: 19mm;
- Módulo de finura do agregado miúdo: $2,7 \pm 0,2$;
- Agregados, na condição, saturado superfície seca;
- Consumo de cimento: $420 \pm 10\text{kg/m}^3$;
- O cimento deve possuir finura de $(4900 \pm 200)\text{cm}^2/\text{g}$ e equivalente alcalino total de $(0,90 \pm 10)\%$, bem como, expansão em autoclave inferior a 20% ;
- Relação água/cimento: 0,45;
- Água de amassamento com adição de NaOH, de forma a manter o equivalente alcalino da mistura em $1,25\%$.
- Volume de agregado graúdo, no estado compactado seco: $(70 \pm 2)\%$ do volume total do concreto;
- Quando da avaliação do potencial reativo de um agregado miúdo, deve-se utilizar um agregado graúdo classificado como inócuo pela NBR 15577-4 (ABNT, 2008d) e vice-versa;

O agregado miúdo deve ser ensaiado em sua granulometria original;

- Granulometria do agregado graúdo, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Granulometria requerida para o agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)		Proporção individual em massa
Passante	Retido	
19,0mm	12,5mm	1/3
12,5mm	9,5mm	1/3
9,5mm	4,75mm	1/3

Fonte: ABNT, 2008f.

- No caso do agregado graúdo, se a fração granulométrica retida na peneira 19 mm, possuir composição e litologia diferente das demais, deve-se proceder à moagem desta fração e juntá-la as demais. Outra opção é ensaiar somente essa fração após a moagem, na granulometria da Tabela 4.

Este método também pode ser empregado para avaliar o traço original de concreto de uma obra;

São moldados, para cada avaliação, pelo menos 3 (três) prismas com seções de (75±0,7)mm de lado por 285 mm de comprimento. Em seguida, estes são submetidos à cura, em câmara úmida ou tanque de cura, durante as primeiras 24 horas.

Após a desforma, realizam-se as primeiras leituras e estes são acondicionados em recipientes, herméticos, tronco-cônicos, revestidos com material absorvente, com volume entre 19 e 22 litros, com água até a altura de (20±5)mm acima do seu fundo, providos de grade ou prateleira de fundo.



Figura 21 – Moldes e sistema de leituras empregados no método CPT.

Fonte: SANCHEZ (2008).

Após o fechamento hermético do recipiente, este é acondicionado em ambiente com temperatura de $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ e fluxo de ar no entorno do recipiente, durante todo o ensaio. Os recipientes não deverão ter contato com as paredes e piso (ou fundo) das áreas destinadas aos seus acondicionamentos, conforme Figura 22.



Figura 22 – Exemplos de acondicionamento dos recipientes de armazenamento dos prismas a temperatura de $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Fonte: FOURNIER *et al.* apud SANCHEZ (2008).

Sequencialmente são avaliadas as expansões dos prismas as idades de 7, 28, 56 dias e posteriormente em períodos mensais dos 3 aos 12 meses.

A NBR 15577-1 (ABNT, 2008) caracteriza como inócuo o potencial reativo, sempre que a expansão após 1 (um) ano foi inferior a 0,04% e potencialmente reativo, quando as expansões nessa mesma idade, forem superiores a 0,04%.

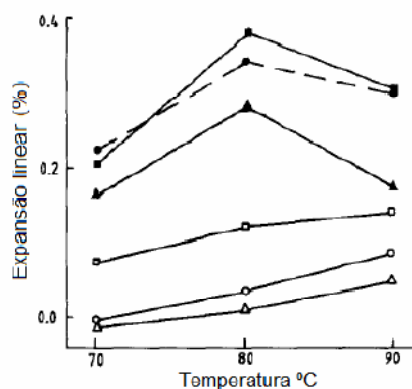
Este mesmo valor é preconizado pelas normas canadense A.23.2-27A (CSA, 2000c) e na norma americana C-1293 (ASTM, 2005).

2.4.7 Método acelerado

O primeiro método acelerado para a avaliação do potencial reativo dos agregados foi desenvolvido na África do Sul por Oberholster e Davis (1986). Por sua velocidade de avaliação da potencialidade da reação, trata-se do método mais empregado no mundo (VALDUGA, 2000; SANCHEZ, 2008).

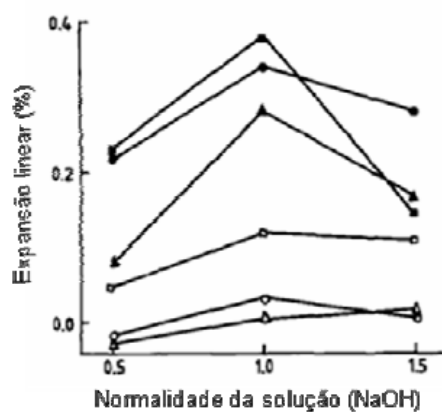
Dada a necessidade de aceleração da reação no método, os autores estudaram diferentes temperaturas e concentrações da solução de NaOH. Desta forma, variaram esta temperatura partindo de 40 °C até 90°C, assim como a concentração da solução nas faixas de 0,25N, a 4N. Os estudos demonstraram que a temperatura de 80°C e a concentração de 1N eram os fatores que levavam às maiores expansões (SANCHEZ, 2008). Os gráficos Gráfico 4 e Gráfico 5 ilustram essas situações.

Gráfico 4 – Estudo da temperatura empregado no desenvolvimento do método acelerado



Fonte: SANCHEZ (2008).

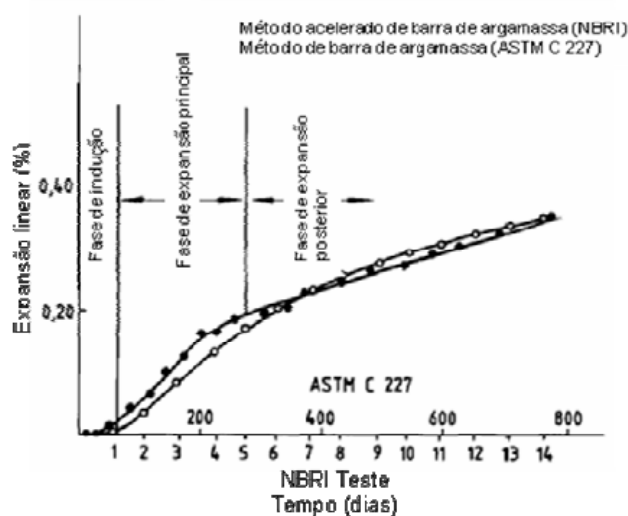
Gráfico 5 – Estudo da concentração da solução de NaOH empregado no desenvolvimento do método acelerado



Fonte: SANCHEZ (2008).

Visando determinar o período de ensaio, os autores avaliaram comparativamente o método em estudo e o método tradicional das barras (*Ibid.*). O Gráfico 6 apresenta esse estudo.

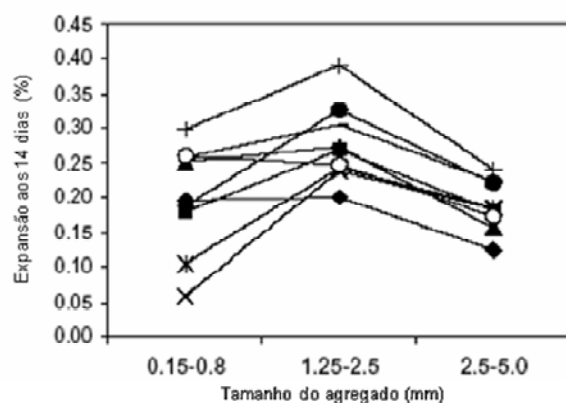
Gráfico 6 – Análise comparativa entre as expansões do método acelerado e do método das barras de argamassa ao longo do tempo



Fonte: SANCHEZ (2008).

Estudos complementares em relação a granulometria dos agregados foram realizados (*Ibid.*). Pode-se observar no Gráfico 7 que as maiores expansões ocorreram para os diâmetros dos grãos variando entre 1,25mm e 2,5mm.

Gráfico 7 – Estudo do efeito da composição granulométrica na expansão pelo método acelerado



Fonte: BELLEW, FOURNIER e LU *apud* SANCHEZ (2008).

Este método foi posteriormente convertido em normas técnicas, nos Estados Unidos denominado C-1260 (ASTM, 2005) e no Canadá A23.2-25A (CSA, 2000).

No Brasil este método, foi normatizado sob o título “NBR 15777-4: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão das barras de argamassa pelo método acelerado” (ABNT, 2008d).

O teste consiste basicamente na imersão de barras de argamassa (confeccionadas com os materiais a serem empregados no concreto) em um banho térmico de 80°C de solução de hidróxido de sódio (NaOH) por 14 dias. Os resultados de expansão são avaliados após 16 dias, contados a partir da data da confecção das barras (THOMAS *et al.*, 2006).

Trata-se de um método de predição do comportamento do concreto frente à ação dos álcalis. Este método também é utilizado para a avaliação dos inibidores da RAA (HASPARYK, 1999; ABNT, 2008e). O método não é indicado para as reações do tipo álcali-carbonato (THOMAS *et al.*, 2006).

Pesquisadores como Bérubé e Frenette (1994) realizaram estudos com variações de temperatura no método e chegaram a conclusão que a temperatura proposta (80°C) é a mais indicada.

Moranville-Regourd *apud* Helmuth e Stark (1992) chegou à conclusão que os produtos de reação encontrados, após a realização do ensaio acelerado, possuem composição química e morfologia similares aos formados no campo.

Thomas *et al.* (2006) concluíram que os resultados do método, apesar de não traduzirem com precisão a realidade, podem garantir a segurança de prevenção da RAA.

Entretanto Sanchez, Kuperman e Helene (2008), afirmam que o método em questão, embora de fácil execução e prático, tem apresentado resultados incoerentes em campo. Alguns agregados indicados como reativos no ensaio, tem se apresentado inócuos no campo (falso-positivos), bem como, agregados

indicados como inócuos no ensaio, demonstraram ser reativos no campo (falso-negativos).

Valduga (2007), em sua tese de doutorado, demonstrou que a forma de moagem dos agregados, gerando grãos com formatos e superfícies específicas diferentes, assim como, variações na consistência da argamassa e na relação água/cimento, geram variações significativas no resultado do ensaio.

Neste mesmo trabalho, Valduga (2007) elevou o tempo de permanência das barras na solução de Na(OH), em até 182 dias, monitorando a sua expansão. Os resultados obtidos demonstraram, que a rocha avaliada que apresentava menores expansões aos 28 dias, apresentava as maiores expansões às idades avançadas.

Para subsidiar as decisões durante a execução das novas Normas Brasileiras, a Comissão de Estudo de Requisitos e Métodos de Ensaio de Agregados (CE-18:200.01), pertencente ao comitê CB-18, realizou o primeiro programa interlaboratorial de RAA, visando validar o método de ensaio proposto.

Todavia, os resultados do programa apresentaram um coeficiente de variação em torno de 50%, além de resultados incoerentes, apesar de serem controlados em todos os ensaios os tipos de cimento e de agregado e sua granulometria.

Devido à importância deste ensaio e das variações apontadas nos resultados do programa interlaboratorial, esta metodologia será o foco central desta dissertação.

2.4.8 Método dos prismas acelerados

O ensaio consiste numa variação do método dos prismas, no qual os prismas são submetidos à temperatura de 60°C, ao invés de 38°C, reduzindo-se o tempo de ensaio (THOMAS *et al.*, 2006; SANCHEZ, 2008).

O método ainda não foi normalizado e pesquisadores tem especificado diferentes tempos de exposição e limites para classificação dos agregados como sendo potencialmente reativo, conforme se pode observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações de pesquisadores para o método dos prismas acelerado

Autores	Limite de referência (CPT)	Limite proposto a 60°C
Ranc e Debray (1992)	0.04% exp. aos 8 meses (38°C)	0.015% a 4 semanas, ou 0.08% a 8 semanas
Bolotte (1992)	0.04% exp. aos 8 meses (38°C)	0.024% a 8 semanas
Murdock e Blanchette (1994)	0.04% exp. aos 12 meses (38°C)	0.02% a 8 semanas, ou 0.03% a 13 semanas
De Grosbois e Fontaine (2000)	0.04% exp. aos 12 meses (38°C)	<ul style="list-style-type: none"> • 0.04% a 13 semanas para agregados carbonáticos • 0.025% a 13 semanas para agregados ígneos e metamórficos
Touma et al. (2001)	0.04% exp. aos 12 meses (38°C)	0.04% a 13 semanas

Fonte: FOURNIER *et al.* (2004) *apud* SANCHEZ (2008).

De acordo com Fournier *et al.* (2004) *apud* Sanchez (2008), compilando-se os resultados dos diversos pesquisadores, conseguiu-se obter uma correlação confiável em que as expansões de 0,03% em 3 meses pelo ensaio acelerado correspondiam as expansões de 0,04% em um ano no ensaio tradicional, para 95% dos casos.

Sanchez (2008), em sua dissertação de mestrado propôs um método acelerado alternativo, o qual consistia em acelerar ainda mais o ensaio, elevando a temperatura para 80°C e imergindo os prismas em solução de NaOH a concentração de 1N, de forma a se qualificar o potencial reativo aos 28 dias de idade. Todavia, conforme o autor do método proposto, este necessita ser

reproduzido para uma gama maior de agregados visando comprovar a sua efetividade.

2.5 A NBR 15577-1 – DIRETRIZES NORMATIVAS NACIONAIS

Como já exposto anteriormente, a comunidade técnica nacional, através do CB-18, publicou em 2008 um conjunto de normas por meio da ABNT, denominado NBR 15577, dividido em 6 (seis) partes visando a orientação preventiva as reações álcali-agregado.

A NBR 15577-1 (ABNT, 2008a) trata-se de um guia para avaliação da reatividade potencial e de medidas de prevenção às reações.

Em síntese as prescrições normativas apresentam uma visão holística às reações álcali-agregado. Neste guia, as primeiras diretrizes levam a avaliação do risco de ocorrência das reações, em função das condições ambientais de entorno das estruturas, do grau de responsabilidade destas, das dimensões da estrutura e/ou dos seus elementos, conforme descrito na Tabela 6.

Desta forma, resumidamente, quando o grau de risco se fizer presente, a NBR 15577-1 (ABNT, 2008a) apresenta três fluxogramas que orientam à prevenção das reações, os quais se encontram reproduzidos nas figuras Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

O primeiro fluxograma traz a orientação holística para o uso do agregado em estruturas frente às reações, enquanto o segundo trata descreve a sequência de ensaios laboratoriais para a avaliação do potencial reativo e finalmente o terceiro para a avaliação da eficiência de materiais inibidores.

A norma traz ainda recomendações para a mitigação das reações (*e.g.* utilização de cimentos com adições ou as próprias adições), bem como, requisitos referentes aos materiais inibidores, conforme reproduzido nas tabelas Tabela 7 e Tabela 8

Tabela 6 – Classificação da ação preventiva em função do tipo de estrutura ou elemento de concreto e das condições de exposição.

Dimensões e condições de exposição dos elementos estruturais de concreto	Estruturas provisórias ^{a)}		Estruturas ou elementos estruturais correntes ^{b)}		Estruturas especiais ^{c)}	
	Classificação da ação preventiva	Exemplo de estrutura	Classificação da ação preventiva	Exemplo de estrutura	Classificação da ação preventiva	Exemplo de estrutura
Não maciço e seco ^{d), e)}	Desnecessária	Edificações provisórias não expostas a umidade atmosférica	Desnecessária	Superestrutura de obras residenciais, comerciais, industriais e outras	Mínima	Superestrutura de hospitais, estações, shopping centers, estádios e outros
Maciço e seco ^{d), e), f)}	Desnecessária	Edificações provisórias não expostas a umidade atmosférica	Moderada	Bases internas para equipamento pesado Edifícios com revestimento externo	Forte	
Não maciço e exposto a umidade ou em contato com água ^{d), e)}	Desnecessária	Proteções de taludes rochosos com concreto projetado, fundações de edificações provisórias, caixas d'água, canteiro de obras	Moderada	Postes, cruzetas, tubos e outros elementos similares de concreto	Forte	Estruturas de obras de arte Comportas de concreto. Fundações de subestações Pré-moldados externos e de galerias Pavimentos externos Elementos de fundações de grandes obras residenciais, comerciais e industriais
			Forte	Vigas de baldrame e elementos de fundações de edificações correntes		
Maciço e em contato com água ^{d), e)}	Mínima	Canteiro de obras Ensecadeiras galgáveis ou integralmente em concreto Fundações de edificações provisórias	Forte	Estádios Estações de tratamento de esgoto Estruturas de fundações	Forte	Infraestruturas de obras de arte Estruturas hidráulicas Estruturas de usinas termelétricas, nucleares e eólicas

a) Estruturas provisórias são aquelas com curto período de vida útil de projeto. Para os efeitos da ABNT NBR 15577 (todas as Partes) considera-se que um curto período de vida útil de projeto corresponde ao máximo de cinco anos.

b) Estruturas correntes são consideradas as construções prediais, residenciais, industriais e comerciais em geral.

c) Estruturas especiais que englobam as obras com vida útil elevada, com grande responsabilidade estrutural, cuja ruína pode acarretar danos expressivos, grande perda de vidas ou dificultar o socorro às vítimas. Nesta categoria estão incluídas estruturas de grande porte, estruturas de aproveitamentos hidráulicos, usinas térmicas, instalações nucleares, obras de arte de engenharia e estruturas nas quais grandes reparos são impossíveis de serem realizados ou inviáveis do ponto de vista financeiro.

d) Elemento maciço é aquele cuja menor dimensão da Seção transversal é maior ou igual a 1 m (CSA.A23.2-27A). Esta limitação refere-se à possibilidade de reação devida à umidade interna do concreto, mesmo quando exposto a ambientes secos.

e) Para os efeitos da ABNT NBR 15577 (todas as Partes), considera-se que ambiente seco corresponde à ausência permanente de umidade em contato com o concreto da estrutura. Os elementos estruturais enterrados são considerados úmidos. Elementos estruturais revestidos não enterrados são considerados protegidos da umidade.

f) A reação álcali-agregado pode ocorrer em elementos de estruturas mistas, em ambientes secos, uma vez que o concreto pode possuir internamente umidade relativa suficiente para o desenvolvimento da reação.

g) Elemento maciço em contato com água diretamente ou umidade proveniente do solo ou de rochas.

NOTA Os exemplos da Tabela 1 são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de estrutura ou elementos estruturais de concreto. Meios agressivos e manifestações patológicas podem contribuir para acelerar o processo deletério iniciado pela reação álcali-agregado.

Fonte: ABNT, 2008a.

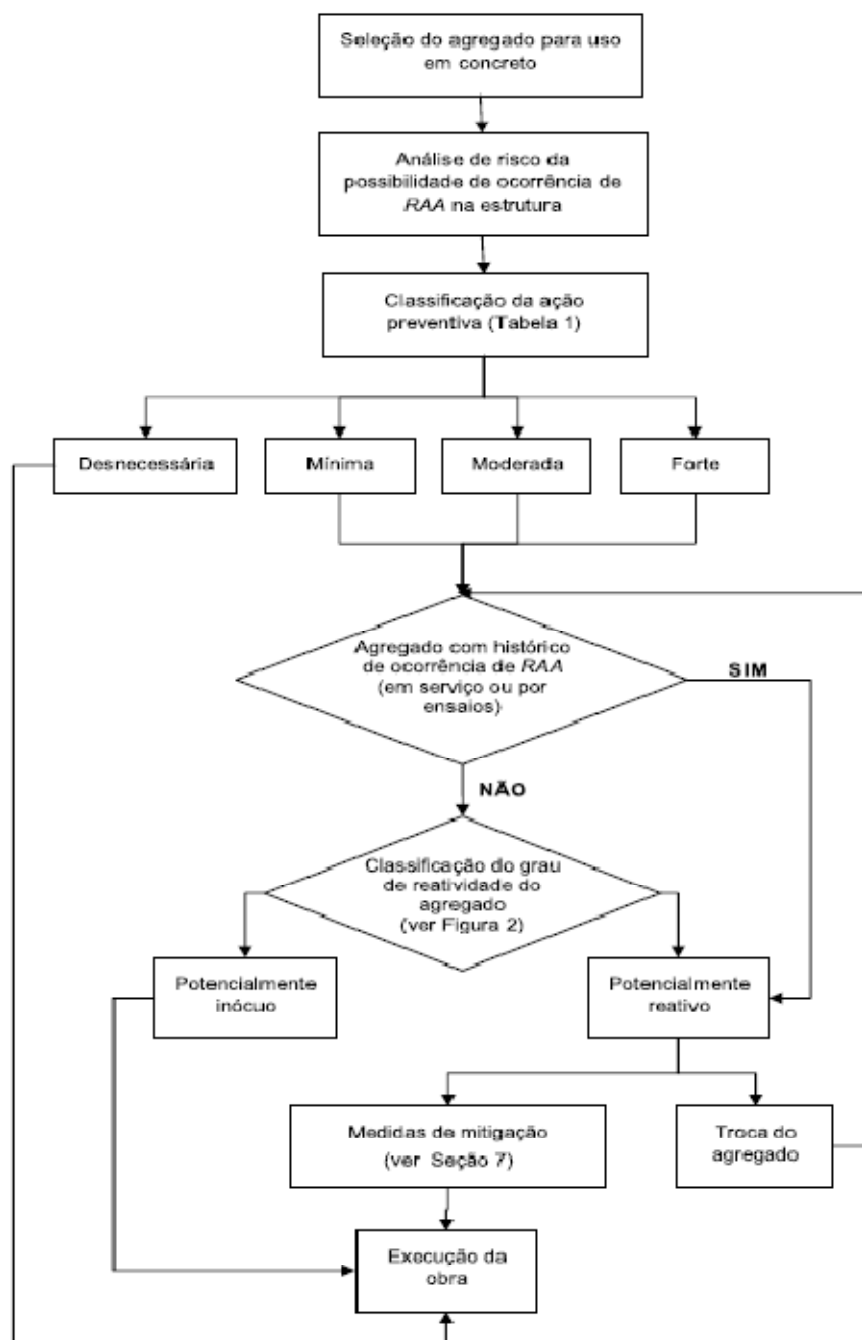


Figura 23 – Fluxograma 1 da NBR 15577-1. Fluxograma geral para uso de agregados em concreto sob o ponto de vista das reações álcali-agregado.

Fonte: ABNT, 2008a.

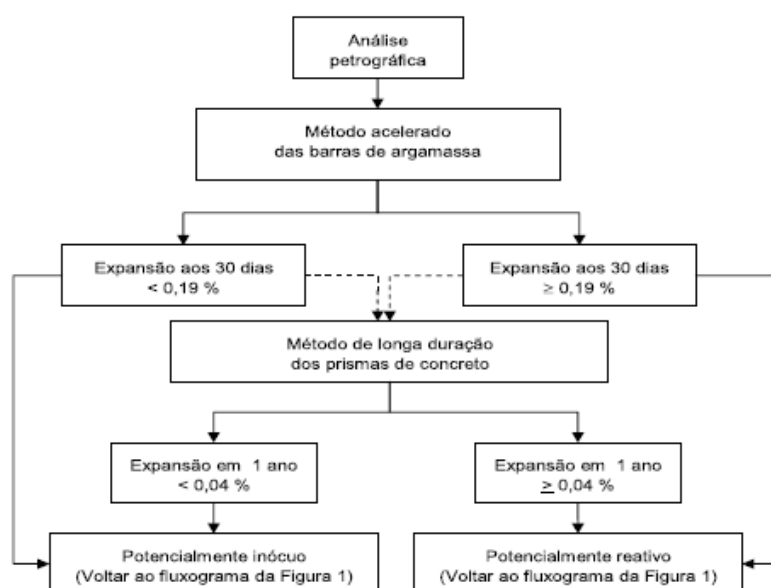


Figura 24 – Fluxograma 2 da NBR 15577-1. Fluxograma para classificação laboratorial do agregado quanto à reação álcali-agregado.

Fonte: ABNT, 2008a.

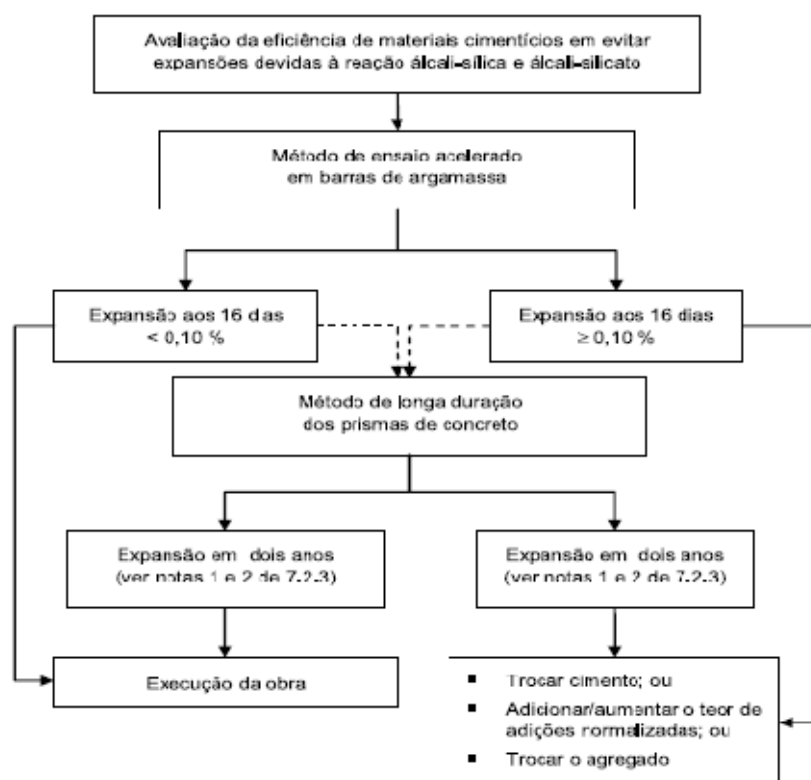


Figura 25 – Fluxograma 3 da NBR 15577-1. Avaliação da eficiência de materiais inibidores da reação.

Fonte: ABNT, 2008a.

Tabela 7 – Medidas de mitigação especificadas na NBR 15577-1.

Intensidade da ação preventiva	Medidas de mitigação
Mínima	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores que $3,0 \text{ kg/m}^3$ de Na_2O equivalente ^{a)} , ^{b)} ou 2) Utilizar cimentos CP II-E ou CP II-Z, conforme ABNT NBR 11578, ou CP III, conforme ABNT NBR 5735, ou CP IV, conforme ABNT NBR 5736, ou 3) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade moderada
Moderada	1) Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores que $2,4 \text{ kg/m}^3$ Na_2O equivalente ^{a)} , ^{b)} ou 2) Utilizar cimento CP III, com no mínimo 60 % de escória conforme ABNT NBR 5735 ou 3) Utilizar cimento CP IV, com no mínimo 30 % de pozzolana conforme ABNT NBR 5736 ou 4) Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de intensidade forte
Forte	1) Utilizar materiais inibidores da reação de acordo com a Tabela 3, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio previsto em 7.2 ou 2) Substituir o agregado em estudo.
^{a)} Aceita-se considerar o aporte de álcalis trazido ao concreto pelo cimento (álcalis totais determinados pelas ABNT NBR NM 11-2, ABNT NBR NM 17 ou ABNT NBR 14656), na ausência de ensaios de todos os componentes do concreto. ^{b)} $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,658 \text{ K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$.	

Fonte: ABNT, 2008a.

Tabela 8 – Requisitos da NBR 15577-1 para materiais inibidores da reação álcali-silica no concreto

Material	Requisitos da composição
Cimento Portland tipo CP II E e CPIII	Escória de alto-forno no cimento em teores suficientes para mitigar as expansões de argamassas com agregados potencialmente reativos a níveis inferiores a 0,10 % aos 16 dias (ver 7.2.2 e Figura 3), quando ensaiadas de acordo com a ABNT NBR 15577-5, ou menores que 0,04 % em dois anos (ver 7.2.3 e Figura 3), quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-6.
Cimento Portland tipo CPII-Z e CPIV	Materiais pozolânicos no cimento em teores suficientes para mitigar as expansões de argamassas com agregados potencialmente reativos a níveis inferiores a 0,10 % aos 16 dias (ver 7.2.2 e Figura 3), quando ensaiadas de acordo com a ABNT NBR 15577-5, ou menores que 0,04 % em dois anos (ver 7.2.3 e Figura 3), quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-6.
Silica ativa e metacaulim em combinação com qualquer tipo de cimento Portland	Os teores necessários de silica ativa e metacaulim e sua eficácia para auxiliar na mitigação das expansões decorrentes de reações deletérias devem ser estabelecidos pelo ensaio prescrito na ABNT NBR 15577-5, atendendo ao limite de 0,10 % aos 16 dias (ver 7.2.2 e Figura 3), ou pelo ensaio prescrito na ABNT NBR 15577-6, sendo menor do que 0,04 % em dois anos (ver 7.2.3 e Figura 3).
NOTA Em obras especiais de concreto massa, como é o caso das barragens, podem ser usados outros materiais, ou misturas de materiais como inibidores da reação álcali-agregado, tendo em vista a grande necessidade de se reduzir a retração térmica do concreto nesse caso e, portanto, de controlar o desenvolvimento do calor de hidratação do cimento, sendo desejável alcançar elevadas deformações em função do proporcionamento dos materiais, o que diferencia essas estruturas das convencionais.	

Fonte: ABNT, 2008a.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

No presente capítulo é apresentado o projeto deste experimento, as características dos materiais e equipamentos empregados na execução deste programa experimental, bem como, os procedimentos de ensaios executados visando atender aos objetivos propostos nesta dissertação.

3.1 Projeto Experimental

Sendo o objetivo principal do presente trabalho a avaliação da influência dos parâmetros do ensaio acelerado na expansão de barras de argamassa aos 16 e 30 dias de idade, assim como, dada à disponibilidade de recursos e materiais para a execução do mesmo, optou-se pela adoção do método de ensaio previsto na NBR 1577-4 (ABNT, 2008), a qual apresenta o seguinte título:

“Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.”

O método de ensaio é muito similar aos propostos nas normas C-1260 (ASTM, 2005) e A.23.2-25 (CSA, 2000), como já discutido no capítulo anterior. Optou-se ainda por esta metodologia, por tratar-se de uma norma nacional recentemente publicada.

Devido à disponibilidade de recursos, os parâmetros que foram variados, visando avaliar as suas influências no resultado expansão aos 16 e 30 dias de idade, foram: a temperatura/período de cura térmica inicial em água destilada, a concentração da solução alcalina (solução de NaOH) e o tempo entre a retirada do corpo-de-prova do tanque e a respectiva leitura de seu comprimento relativo.

A Tabela 9 apresenta um resumo das variáveis de ensaio e sua respectiva classificação.

Tabela 9 – Discriminação das variáveis envolvidas no método de ensaio adotado.

Parâmetro/Fonte e respostas	Unidade	L.I	L.S	Imp. Relativa	Dificuldade de manipulação	Fator tipo
Temperatura da sala de moldagem	°C	20	27,5	nominal é melhor	mediana	constante
Temperatura dos materiais secos	°C	20	27,5	nominal é melhor	mediana	constante
Temperatura da água de mistura	°C	23	24,7	nominal é melhor	mediana	constante
Temperatura da câmara úmida (ou tanque de cura)	°C	23	24,7	nominal é melhor	mediana	constante
Umidade relativa da sala de moldagem	%	50	100	maior é melhor	difícil	ruído
Temperatura do banho	°C	78	82	nominal é melhor	mediana	constante
Concentração da solução de Na(OH)	N	0,99	1,01	nominal é melhor	difícil	controlável
Granulometria do agregado:	-	-	-	-	-	-
Passante na peneira 4,75mm / retido na 2,36mm	%	10	10	nominal é melhor	fácil	constante
Passante na peneira 2,36mm / retido na 1,18mm	%	25	25	nominal é melhor	fácil	constante
Passante na peneira 1,18mm / retido na 0,60mm	%	25	25	nominal é melhor	fácil	constante
Passante na peneira 0,60mm / retido na 0,30mm	%	25	25	nominal é melhor	fácil	constante
Passante na peneira 0,30mm / retido na 0,15mm	%	15	15	nominal é melhor	fácil	constante
Massa de cimento	g	440	440	nominal é melhor	fácil	constante
Massa de agregados em estado seco	g	990	990	nominal é melhor	fácil	constante
Relação água/cimento	-	0,47	0,47	nominal é melhor	fácil	constante
Tempo de permanência das barras nos moldes (em câmara úmida ou tanque de cura)	h	22	26	nominal é melhor	mediana	constante
Temperatura do banho durante a permanência das barras deformadas (em banho térmico ou estufa ventilada)	°C	78	82	nominal é melhor	mediana	controlável
Tempo de permanência das barras deformadas (em banho térmico ou estufa ventilada)	h	24	24	nominal é melhor	mediana	controlável
Temperatura do banho em solução de NaOH, durante a permanência das barras	°C	78	82	nominal é melhor	mediana	constante
Concentração da solução de Na(OH), empregada no banho térmico, durante a permanência das barras	N	0,99	1,01	nominal é melhor	difícil	controlável
Tempo entre a retirada das barras do recipiente, para mensurações inicial/intermediárias, e retorno ao recipiente	min	-	10	menor é melhor	difícil	constante
Tempo entre a retirada das barras do recipiente, secagem e leituras iniciais/intermediárias	s	10	25	nominal é melhor	difícil	controlável
Expansão média aos 04 dias de idade	%	-	-	nominal é melhor	-	resposta
Expansão média aos 08 dias de idade	%	-	-	nominal é melhor	-	resposta
Expansão média aos 12 dias de idade	%	-	-	nominal é melhor	-	resposta
Expansão média aos 16 dias de idade	%	-	-	nominal é melhor	-	resposta
Técnico laboratorista (fatores psico-sociais)	-	-	-	-	difícil	ruído
Quedas dos prismas	-	-	-	-	difícil	ruído

Optou-se como estratégia experimental o método fatorial (MONTGOMERY, 1991; RIBEIRO E TEM CATEN, 2001), com quatro fatores, 2⁴ e um ponto central (ensaio dentro das condições normatizadas) como referência comparativa e a fim de se obter superfícies de resposta. Totalizando 17 ensaios, sendo 16 ensaios, nos quais foram variados os fatores e mais um dentro das especificações normativas, denominado ensaio de referência.

Os fatores manipulados no ensaio foram variados nos seguintes níveis:

- Temperatura de banho após a desforma das barras: 70°C e 90°C;
- Tempo de permanência no banho inicial: 20h e 28h;
- Concentração da solução de NaOH: 0,9 N e 1,1 N;
- Tempo de operação = tempo entre a retirada de cada barra do tanque de imersão e mensuração da variação de seu comprimento: (>10s;<15s) e (>25s).

As figuras, Figura 26 e Figura 27, apresentam esquematicamente o planejamento experimental.

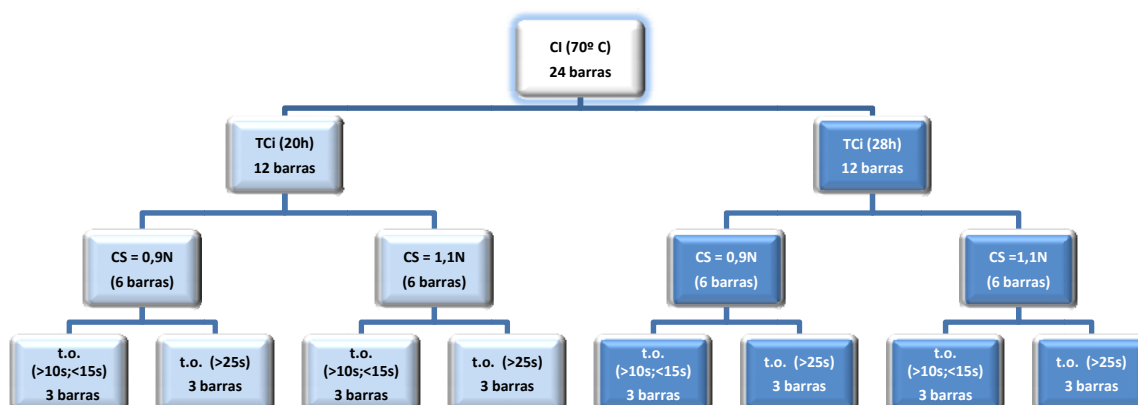


Figura 26 – Organograma prático das barras que sofreram cura inicial (24h-48h) a 70°C.

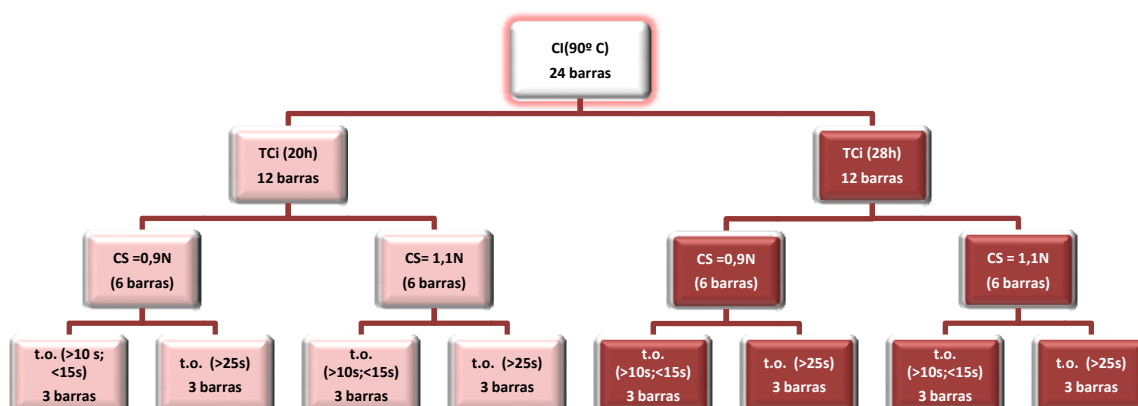


Figura 27 – Organograma prático das barras que sofreram cura inicial (24h-48h) a 90°C.

Dada a existência apenas de um tanque de imersão para cura em água e sendo a sua capacidade máxima de armazenamento igual a 30 barras, as séries das barras que sofreram a cura inicial de 70°C, foram todas moldadas em um único dia, assim como, as que sofreram a cura inicial de 90°C.

Todavia, as séries de 70°C, 90°C e a de referência, foram moldadas com um intervalo de 1 (um) dia entre elas.

Visando aleatorizar o experimento, procedeu-se da seguinte forma:

As posições a serem ocupadas pelas barras dentro, de cada um dos tanques de armazenamento (concentrações da solução a 0,9 N e 1,1 N), foram previamente definidas, conforme a Figura 28:

TANQUE 01 – Concentração = 0,9 N						Tanque 02 – Concentração = 1,1 N					
(1) 70°C 20h 10s	(2) 90°C 28h 10s	(3) 70°C 28h 10s	(4) 90°C 20h 10s	(5) 70°C 20h 10s	(6) 90°C 28h 10s	(1) 90°C 20h 25s	(2) 70°C 28h 25s	(3) 90°C 28h 25s	(4) 70°C 20h 25s	(5) 90°C 20h 25s	(6) 70°C 28h 25s
vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio
(7) 90°C 28h 25s	(8) 70°C 20h 25s	(9) 90°C 20h 25s	(10) 70°C 28h 25s	(11) 90°C 28h 25s	(12) 70°C 20h 25s	(7) 70°C 28h 10s	(8) 90°C 20h 10s	(9) 70°C 20h 10s	(10) 90°C 28h 10s	(11) 70°C 28h 10s	(12) 90°C 20h 10s
(13) 70°C 28h 10s	(14) 90°C 20h 10s	(15) 70°C 20h 10s	(16) 90°C 28h 10s	(17) 70°C 28h 10s	(18) 90°C 20h 10s	(13) 90°C 28h 25s	(14) 70°C 20h 25s	(15) 90°C 20h 25s	(16) 70°C 28h 25s	(17) 90°C 28h 25s	(18) 70°C 20h 25s
vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio
(19) 90°C 20h 25s	(20) 70°C 28h 25s	(21) 90°C 28h 25s	(22) 70°C 20h 25s	(23) 90°C 20h 25s	(24) 70°C 28h 25s	(19) 70°C 20h 10s	(20) 90°C 28h 10s	(21) 70°C 28h 10s	(22) 90°C 20h 10s	(23) 70°C 20h 10s	(24) 90°C 28h 10s

Figura 28 – Identificação das posições das barras do experimento nos tanques.

Nota-se que houve uma pré-definição das características dos fatores variáveis para cada barra, de forma intercalada internamente e entre os tanques, com exceção do tempo de operação. Procurou-se manter um mesmo tempo de operação, em cada fileira, de forma a não gerar ruídos nos procedimentos de leitura das barras.

Essa intercalação foi planejada visando garantir que todas as barras sofressem diferentes condições de concentração no interior de cada um dos tanques, de forma a reduzir esse tipo de ruído.

Os esquemas de posição dos tanques foram utilizados para sortear, a posição de cada uma das barras, individualmente, independente da série de moldagem a que pertencia.

Com base no sorteio, as barras eram identificadas, uma a uma, com a numeração e as características de sua posição. Visando não mudar a rotina de identificação do laboratório, as barras também eram identificadas conforme os padrões deste.

Neste sistema de aleatorização por sorteio, pôde-se garantir que as barras de ambas as séries ocupassem diferentes posições em ambos os tanques. Com esse procedimento, procurou-se minimizar os ruídos devido às moldagens terem ocorrido em dias diferentes. Ou seja, não permitir que todas as barras moldadas em uma mesma data fossem submetidas a condições de contorno similares.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGAGADOS

A seguir são apresentadas as características dos materiais (agregado e cimento) utilizados na presente pesquisa.

3.2.1 Agregado

O agregado empregado no experimento consiste em um minólito de uma pedreira de Recife-PE. Este agregado foi escolhido devido a sua alta reatividade já comprovada (ANDRADE *et al.*, 2006; SANCHEZ, 2008).

A caracterização deste agregado é apresentada nas tabelas 6, 7, 8 e figuras 26 e 27.

Tabela 10 – Características físicas do agregado empregado na pesquisa.

Massa específica no estado seco (g/cm ³)	2,68
Massa específica na condição saturado superfície seca (g/cm ³)	2,69
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,71
Absorção (%)	0,4
Índice de forma	2,8
Teor de material passante na peneira 15µm por lavagem (%)	0,7

Fonte: LAME, 2009.**Tabela 11 – Composição granulométrica do agregado empregado na pesquisa.**

Abertura das Peneiras (mm)	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (NBR NM 248/2003)						
	Ensaio (Valores Médios)		Porcentagens Retidas				
			Limites Recomendados - NBR 7211/83 (Acumuladas)				
	% Retida	% Acumulada	GRAD. 4,75/12,5	GRAD. 9,5/25	GRAD. 19/31,5	GRAD. 25/50	GRAD. 37,5/75
152	0	0	-	-	-	-	-
76	0	0	-	-	-	-	0 - 5
64	0	0	-	-	-	-	5 - 30
50	0	0	-	-	-	0 - 5	75 - 100
38	0	0	-	-	-	5 - 30	90 - 100
32	0	0	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	0	0	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	-
19	79	79	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	-
12,5	19	98	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	-
9,5	1	99	2 - 15	80 - 100	80 - 100	-	-
6,3	0	99	40 - 65	92 - 100	92 - 100	-	-
4,8	0	99	80 - 100	95 - 100	95 - 100	-	-
2,4	0	99	95 - 100	-	-	-	-
Fundo	1	99	-	-	-	-	-
Totais	100		-	-	-	-	-
Módulo de Finura:		7,76	Dimensão Máxima Característica (mm):				25

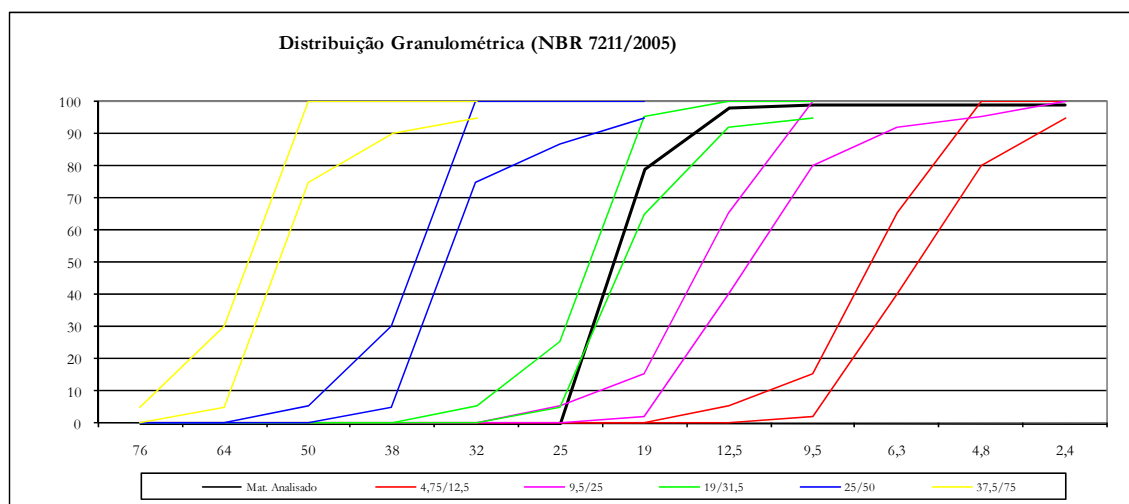
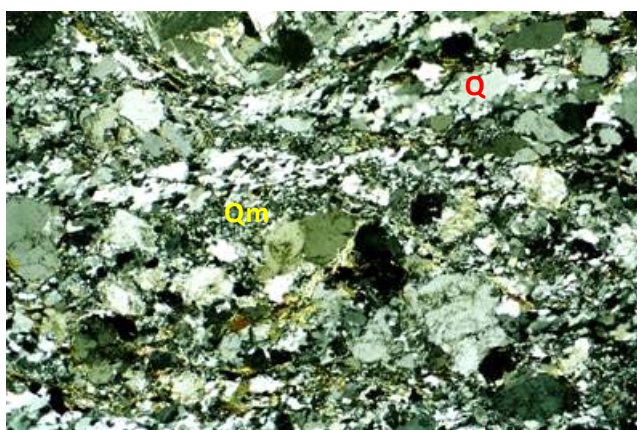
Fonte: LAME, 2009.**Figura 29 – Curva granulométrica do agregado empregado na pesquisa.**

Tabela 12 – Caracterização petrográfica do agregado empregado na pesquisa.

Características microscópicas		
Mineralogia	Principal	Quartzo, feldspato e mica
	Subordinada	Titanita e opacos
	Reativa/ Deletéria	Quartzo deformado com extinção ondulante, quartzo fino e quartzo recristalizado
Estrutura		Foliado orientado
Textura		Milonítica
Granulação		Média
Alteração		Pouco alterado a são
Deformação do agregado		Deformado
Tipo de rocha		Metamórfica
Classificação petrográfica		Milonito
Reatividade potencial		Agregado reativo

Fonte: PECCHIO E BATTAGIN, 2005.



Cristais de quartzo deformado (Q) e massa de quartzo fino (Qm).
F=feldspato Microscópio de luz transmitida - Ampliação 25x

Figura 30 - Fotomicrografia do agregado empregado na pesquisa.

Fonte: PECCHIO E BATTAGIN, 2005.

3.3 CIMENTO

O cimento empregado no experimento foi o cimento Portland de alta resistência inicial resistente aos sulfatos (CP V ARI RS), marca Votoran. Esse cimento foi escolhido por apresentar alta reatividade.

As características deste cimento são apresentadas nas tabelas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 13 – Características físico-químicas do cimento empregado na pesquisa.

Características Químicas	
Equivalente alcalino em Na ₂ O (%)	0,75
Perda ao fogo (%)	3,59
Óxido de magnésio (%)	5,64
Anidrido sulfúrico – SO ₃ (%)	3,39
Anidrido carbônico – CO ₂ (%)	2,74
Resíduo insolúvel – RI (%)	13,5
Características Físicas	
Massa específica (g/cm ³)	3,00
Área específica, Blaine (cm ² /g)	5060
Finura – Resíduo na peneira 75µm (%)	0,2
Finura – Resíduo na peneira 44 µm (%)	1,9
Água da pasta de consistência normal (%)	28,6
Início de pega (min.)	206
Fim de pega (min.)	275
Expansibilidade Le Chatelier a quente (mm)	0,18

Fonte: Votorantim Cimentos, 2009.

Cabe aqui, esclarecer, que apesar do cimento empregado não atender o limite inferior de 0,80 do equivalente alcalino de Na₂O, especificado na NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), este cimento foi o escolhido dentro das limitações de recursos para a presente pesquisa, por ser apresentar características mais próximas a essas.

Tabela 14 – Características mecânicas do cimento empregado na pesquisa.

Idade (dias)	Resistência à compressão média (MPa)
1	22,6
3	33,4
7	38,0
28	47,4

Fonte: Votorantim Cimentos, 2009.

3.4 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

A seguir são apresentados os equipamentos utilizados na presente pesquisa, os quais visam atender as especificações normativas do método escolhido, assim como, as necessidades deste programa experimental.

Haja vista que este se trata de um programa experimental que visa avaliar um método de ensaio, os equipamentos foram avaliados quanto as suas calibrações. Desta forma, os certificados de calibração dos equipamentos utilizados neste programa experimental, encontram-se no anexo I.

3.4.1 Britador

Para realizar a redução do tamanho das partículas do agregado, na fração granulométrica da NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), foi empregado um britador de mandíbulas reguláveis, conforme Figura 31.



Figura 31 – Britador de mandíbulas empregado na redução granulométrica do agregado.

3.4.1 Balança

Para a determinação das massas dos materiais britados, nas frações granulométricas preconizadas no método de ensaio, assim como, das massas de materiais a serem misturadas na confecção das argamassas, foi empregada uma balança digital de precisão, marca Ohaus, com capacidade de 8 (oito) kg e exatidão de 0,1 g. Figura 32.



Figura 32 - Balança digital de precisão, empregada nas determinações de massas dos materiais.

3.4.2 Misturador de argamassa

Para a realização da mistura das argamassas foi empregado um misturador de argamassa planetário, marca EMIC, conforme a Figura 33.



Figura 33 - Misturador planetário de argamassa empregado na confecção das argamassas.

3.4.3 Comparador de comprimento

Na avaliação das variações de comprimento, das barras de argamassa, foi utilizado um dispositivo dotado de relógio comparador digital, marca Mitutoyo, com sensibilidade de 0,001 mm e haste padrão de comprimento nominal 295 mm, conforme a Figura 35.



Figura 34 - Dispositivo empregado na avaliação das variações de comprimento das barras de argamassa.

3.4.4 Paquímetro

Para a aferição das distâncias entre os parafusos, dos moldes das barras de argamassa e na determinação do índice de consistência das argamassas, foi empregado um paquímetro analógico, marca Mitutoyo, com sensibilidade de 0,01 mm.

3.4.5 Tanque de cura inicial

Para realizar as curas térmicas iniciais, das barras de argamassa, às temperaturas de 70°C e 90°C, foi empregado um banho termorregulador, marca Lauda, dotado de termostato digital com sensibilidade de 0,1°C, conforme Figura 36.



Figura 35 – Banho termorregulador utilizado na cura térmica inicial das barras de argamassa.

3.4.6 Tanques de cura em solução alcalina

Para a realização da cura das barras de argamassa em solução alcalina, à temperatura de $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$, foram empregados tanques dotados de termostatos reguláveis, conforme a Figura 36.



Figura 36 - Tanques empregados na cura das barras de argamassas, em solução da NaOH.

3.4.7 Termômetro digital

Foi empregado termômetro digital com sonda, marca Gulton, com sensibilidade de $0,1^\circ\text{C}$, na verificação diária das temperaturas dos tanques de cura em solução de NaOH, conforme a Figura 37.



Figura 37 – Termômetro digital empregado na aferição das temperaturas dos tanques de cura em solução de NaOH.

3.4.8 Termo-higrômetro

Para avaliar, as condições ambientais das salas de moldagem e leitura das variações de comprimento das barras de argamassa, empregou-se um termo-higrômetro digital, marca Minipa, com sensibilidade de 0,1°C e 0,1% para temperatura e umidade relativa respectivamente, conforme Figura 38.



Figura 38 - Termo-higrômetro empregado na avaliação das condições ambientais, das salas de moldagem e leitura.

3.4.9 Cronômetro

Na determinação dos tempos de operação, desde a retirada de cada uma das barras de argamassa do tanque de cura e da leitura de seu comprimento relativo, empregou-se um cronômetro digital, marca Technos, com sensibilidade de um milésimo de segundo. O mesmo cronômetro foi utilizado na determinação dos tempos de mistura das argamassas, conforme Figura 39.



Figura 39 - Cronômetro empregado na determinação dos tempos de manipulação das barras e de mistura das argamassas.

3.5 Procedimentos metodológicos

A seguir é apresentada a seqüência de execução do experimento, desde o preparo dos materiais, acessórios e equipamentos, até a sua finalização.

3.5.1 Calibração dos moldes

Inicialmente os moldes foram calibrados de forma a garantir que as distâncias internas, entre os parafusos (comprimento efetivo de medida), estivessem dentro do intervalo de $(250 \pm 2,5)$ mm, conforme a Figura 40.



Figura 40 - Aferição do comprimento efetivo de medida dos moldes.

3.5.2 Preparo do agregado

O agregado foi britado e separado nas frações granulométricas especificadas na metodologia normativa adotada, em quantidade suficiente para se realizar as 48 (quarenta e oito moldagens) mais uma moldagem de referência.

Toda a britagem e peneiramento dos agregados foram realizados em um único dia.

Em seguida as frações foram lavadas e levadas à estufa, para secagem à temperatura aproximada de 110°C, até a constância de massa.

As figuras Figura 41/Figura 42 ilustram esse processo.



Figura 41 – Fases do processo de britagem do agregado



Figura 42 - Peneiramento e preparo do agregado britado

3.5.3 Preparo das argamassas e moldagens das barras

Após o preparo dos agregados, foram executadas 8 (oito) amassadas de argamassas, no traço 1 : 2,25 : 0,47, por dia. A cada amassada foram moldadas 3 (três) barras, totalizando 24 barras confeccionadas por dia. Cabe ressaltar, que se executava inicialmente uma amassada extra, anterior as demais, a qual se utilizava somente para a determinação da consistência.

Em seguida, as barras eram inseridas em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa maior ou igual a 95%.

Desta forma, no primeiro dia de moldagens, foram confeccionadas todas as barras que seriam sujeitas a um banho térmico inicial, após 24 horas de cura úmida, em água destilada à temperatura de $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

No dia seguinte, foram confeccionadas todas as barras que seriam sujeitas a um banho térmico inicial, após 24 horas de cura úmida, em água destilada à temperatura de $(90\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

E finalmente no terceiro dia, foram confeccionadas as 3 (três) barras, nas condições normativas de ensaio, para servir de referência comparativa ao experimento.

Sendo assim, o intervalo entre cada uma das moldagens em diferentes condições de cura inicial, foi de 1 (um) dia. Ou seja, as idades, para comparação das expansões das barras, teriam um intervalo de no mínimo um e no máximo dois dias, para poder se efetuar as análises de influência dos fatores manipulados no experimento.

O presente processo pode ser visualizado nas figuras Figura 42, Figura 43 e Figura 44.



[a] Determinação das massas dos materiais



[b] Frações dos agregados após a pesagem nas devidas proporções e respectiva homogeneização



[c] Determinação da massa da água de amassamento



[d] Introdução dos materiais no misturador planetário



[e] Homogeneização dos materiais



[f] Descanso da argamassa

Figura 43 – Preparo da argamassa

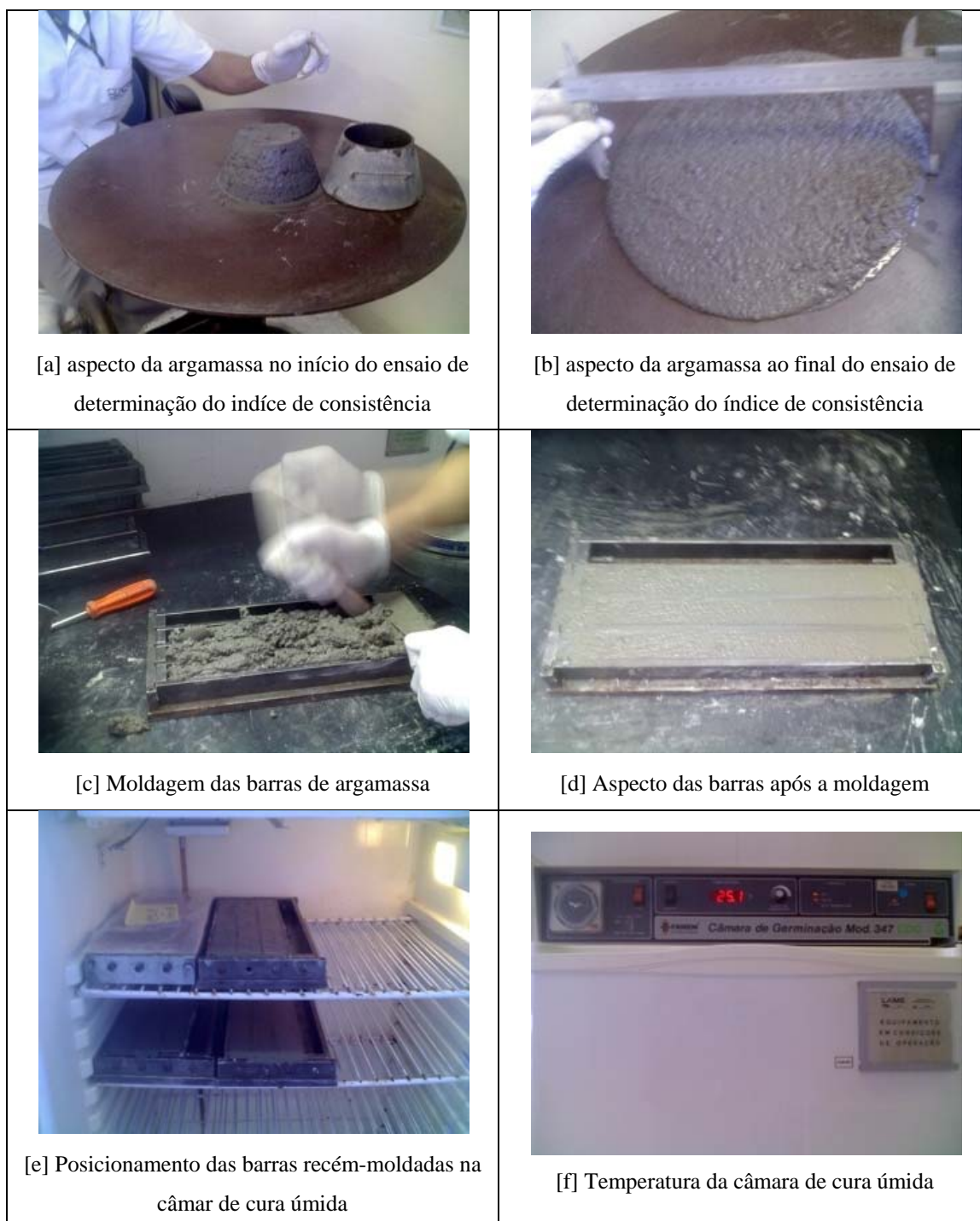


Figura 44 - Determinação do índice de consistência, moldagem e cura das barras

3.5.4 Desmoldagem e identificação das barras

Após 24 horas em cura úmida à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, as barras foram desmoldadas e ordenadas sequencialmente, de acordo com a ordem de moldagem. Eram então identificadas temporariamente, de forma contínua, com uma numeração, de 1 (um) a 24.

Com pequenos papéis também numerados de 1 (um) a 24 e dobrados, realizou-se um sorteio, de forma que, para cada um dos números sorteados retirava-se uma barra de numeração coincidente.

À medida que as barras eram sorteadas, estas seriam destinadas as diferentes posições dos tanques, iniciando-se no primeiro dia, pelas barras que sofreriam uma cura térmica inicial à $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e no dia seguinte as barras que seriam sujeita à cura térmica inicial à $(90\pm 2)^{\circ}\text{C}$

A ordem, para a determinação das posições nos tanques, foi determinada da esquerda para a direita e de cima para baixo, no croqui esquemático dos tanques conforme a Figura 45.

TANQUE 01 – Concentração = 0,9 N						Tanque 02 – Concentração = 1,1 N					
(1) 70°C 20h 10s	(2) 90°C 28h 10s	(3) 70°C 28h 10s	(4) 90°C 20h 10s	(5) 70°C 20h 10s	(6) 90°C 28h 10s	(1) 90°C 20h 25s	(2) 70°C 28h 25s	(3) 90°C 28h 25s	(4) 70°C 20h 25s	(5) 90°C 20h 25s	(6) 70°C 28h 25s
vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio
(7) 90°C 28h 25s	(8) 70°C 20h 25s	(9) 90°C 20h 25s	(10) 70°C 28h 25s	(11) 90°C 28h 25s	(12) 70°C 20h 25s	(7) 70°C 28h 10s	(8) 90°C 20h 10s	(9) 70°C 20h 10s	(10) 90°C 28h 10s	(11) 70°C 28h 10s	(12) 90°C 20h 10s
(13) 70°C 28h 10s	(14) 90°C 20h 10s	(15) 70°C 20h 10s	(16) 90°C 28h 10s	(17) 70°C 28h 10s	(18) 90°C 20h 10s	(13) 90°C 28h 25s	(14) 70°C 20h 25s	(15) 90°C 20h 25s	(16) 70°C 28h 25s	(17) 90°C 28h 25s	(18) 70°C 20h 25s
vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio	vazio
(19) 90°C 20h 25s	(20) 70°C 28h 25s	(21) 90°C 28h 25s	(22) 70°C 20h 25s	(23) 90°C 20h 25s	(24) 70°C 28h 25s	(19) 70°C 20h 10s	(20) 90°C 28h 10s	(21) 70°C 28h 10s	(22) 90°C 20h 10s	(23) 70°C 20h 10s	(24) 90°C 28h 10s

Figura 45 - Croqui esquemático de identificação das barras nos tanques

Desta forma, relativamente às barras que sofreriam uma cura térmica inicial à $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$, a primeira barra sorteada ocuparia a posição 1 (um) do tanque 1 (um), a segunda a posição 3 (três) do tanque 1 (um), a terceira a posição 5 (cinco) do mesmo tanque, e assim sucessivamente até que todas as posições de ambos os tanques estivessem preenchidas. A Figura 46 abaixo ilustra todo o processo.

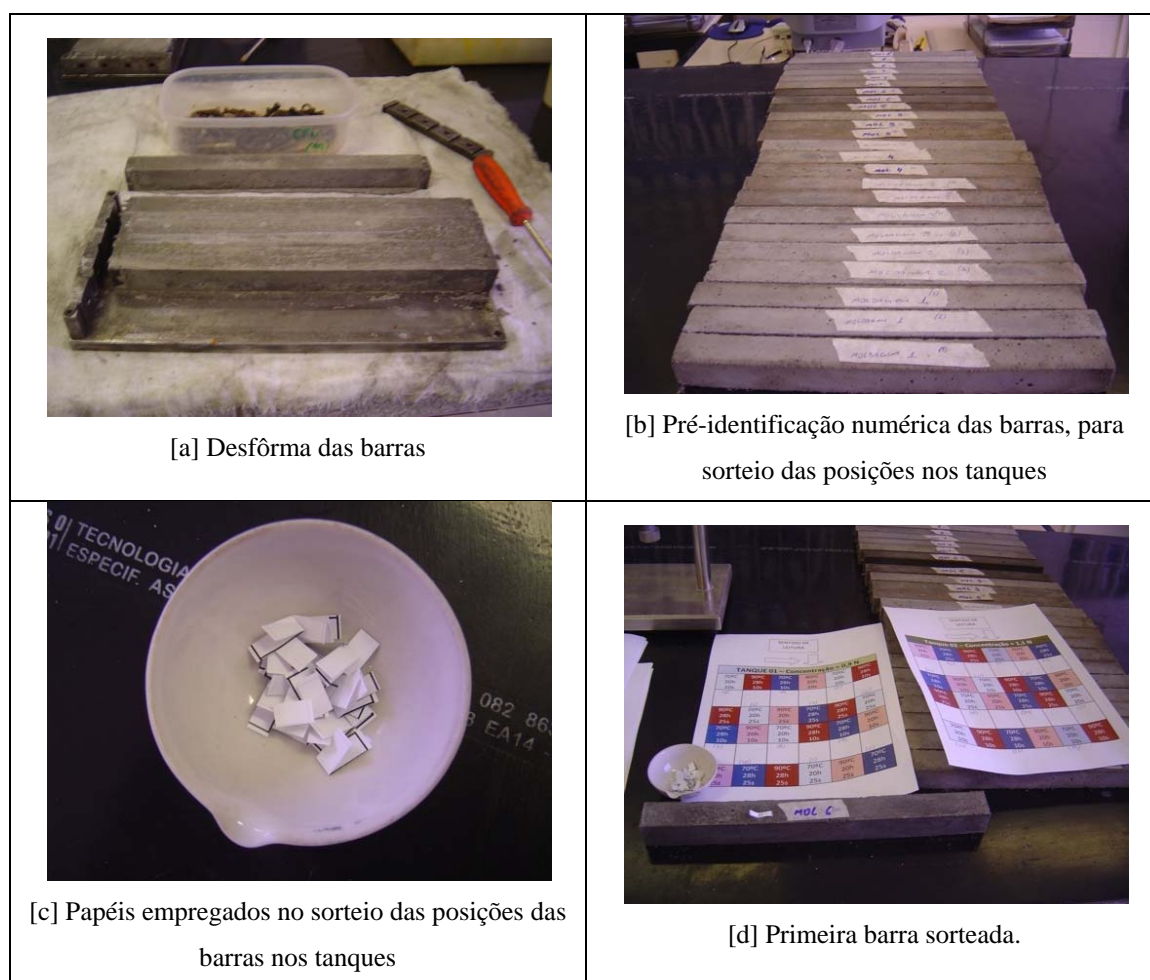


Figura 46 - Desfôrma das barras e sorteio das posições nos tanques para aleatorização do experimento

Como já exposto anteriormente, o sorteio foi utilizado para aleatorizar o experimento, como também, reduzir a influência dos ruídos provenientes das variações de mistura entre amassadas e procedimentos de moldagem.

As barras então recebiam a seguinte identificação, com o emprego de marcador industrial, conforme ilustrado na Figura 47.

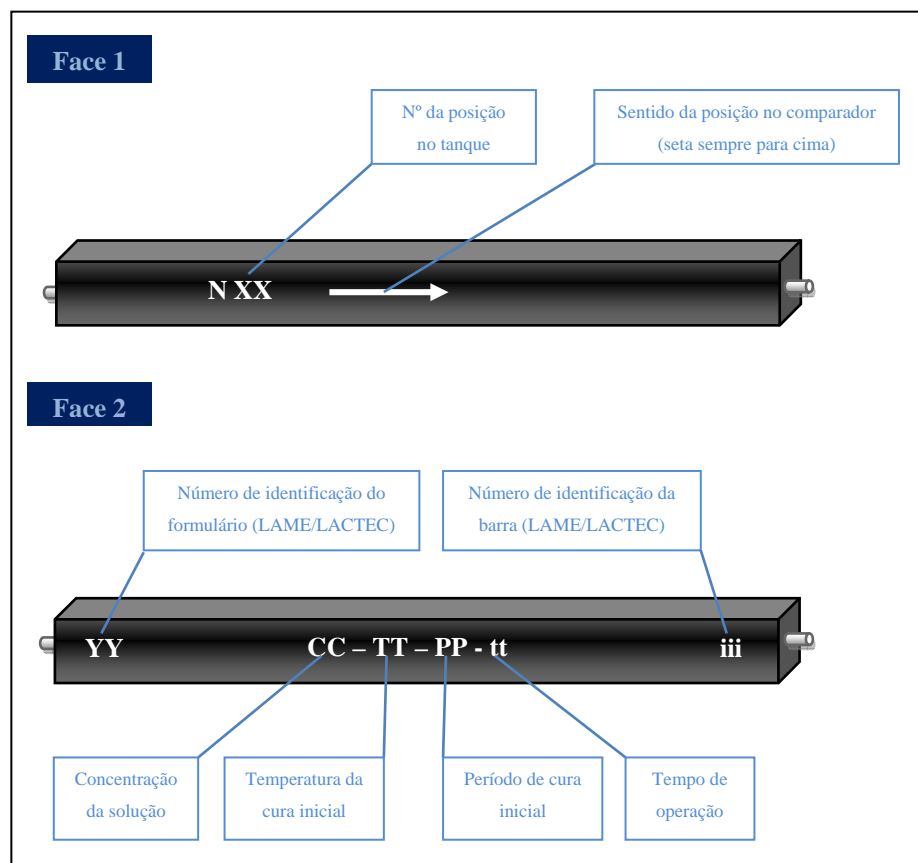


Figura 47 - Forma de identificação das barras

Visando facilitar as identificações das barras durante as leituras, utilizou-se a face 1 como referência, juntamente com dois formulários, um para cada tanque, nos quais as barras eram numeradas sequencialmente, conforme Figura 48.

TANQUE 01 - Concentração 0,9 N										
Posição	Id. LAME (MLD/CP)	17/03/09	18/03/09	19/03/09	20/03/09	21/03/09	22/03/09	23/03/09	24/03/09	25/03/09
1 (10s)	33/I									
2 (10s)	41/I									
3 (10s)	33/II									
4 (10s)	41/II									
5 (10s)	33/III									
6 (10s)	41/III									
7 (25s)	42/I									
8 (25s)	34/I									
9 (25s)	42/II									
10 (25s)	34/II									
11 (25s)	42/III									
12 (25s)	34/III									
13 (10s)	35/I									
14 (10s)	43/I									
15 (10s)	35/II									
16 (10s)	43/II									
17 (10s)	35/III									
18 (10s)	43/III									
19 (25s)	44/I									
20 (25s)	36/I									
21 (25s)	44/II									
22 (25s)	36/II									
23 (25s)	44/III									
24 (25s)	36/III									
CP Extraviado (quebrou ao desmoldar)										

TANQUE 02 - Concentração 1,1 N										
Posição	Id. LAME (MLD/CP)	17/03/09	18/03/09	19/03/09	20/03/09	21/03/09	22/03/09	23/03/09	24/03/09	25/03/09
1 (25s)	45/I									
2 (25s)	37/I									
3 (25s)	45/II									
4 (25s)	37/II									
5 (25s)	45/III									
6 (25s)	37/III									
7 (10s)	38/I									
8 (10s)	46/I									
9 (10s)	38/II									
10 (10s)	46/II									
11 (10s)	38/III									
12 (10s)	46/III									
13 (25s)	47/I									
14 (25s)	39/I									
15 (25s)	47/II									
16 (25s)	39/II									
17 (25s)	47/III									
18 (25s)	39/III									
19 (10s)	40/I									
20 (10s)	48/I									
21 (10s)	40/II									
22 (10s)	48/II									
23 (10s)	40/III									
24 (10s)	48/III									

Figura 48 - Formulários empregados para anotação das leituras do experimento.

A face 1 era empregada ainda para o posicionamento no sistema comparador de comprimento, com a seta sempre apontando para cima, de forma a reduzir ruídos no experimento.

Já a face 2 foi utilizada para identificar as barras, durante as curas térmicas iniciais, bem como, facilitar a colocação das mesmas no momento da imersão nos tanques (com solução de NaOH) e dirimir eventuais dúvidas de identificação durante as demais fases de execução do experimento.

Cabe relatar aqui, que uma das barras, fraturou-se na ocasião da sua desmoldagem. Todavia, esta foi igualmente sorteada e identificada (corpo-de-prova 23), de maneira a não afetar a aleatorização experimental, conforme Figura 49.



Figura 49 - Detalhe da barra de argamassa fraturada na desmoldagem.

3.5.5 Cura térmica inicial, leitura de referência e início do banho em solução de NaOH

Após a devida identificação, as barras eram sujeitas a um banho termoregulado, em água destilada.

Um quarto das barras moldadas (12 barras) foi sujeita a um banho térmico à $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante 20h, outro quarto à $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante 28h. Proporcionalmente, a outra metade das barras menos uma (barra fraturada), foi sujeita a um banho térmico à $(90\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante 20h e 28h.

Logo após o banho, as barras eram retiradas do banho uma a uma, quando então era realizado o seguinte procedimento (para cada barra individualmente):

- No momento em que a barra era retirada do tanque, um dos técnicos acionava o cronômetro;
- A barra era posicionada/encaixada no comparador, com a face 1 para frente e seta de indicação para cima;
- Quando o tempo de 10 (dez) segundos ou 25 segundos era atingido (de acordo com a identificação da barra), o técnico que gerenciava o tempo dizia: “leia”.
- Neste momento o técnico responsável pela leitura, efetuava um giro de 360° na barra, em sentido anti-horário, e efetuava a leitura no relógio comparador.
- Em seguida a barra envolvida por uma toalha saturada em vapor quente até se completar um conjunto com quatro barras. Finalmente, após cada conjunto formado, as barras eram devidamente posicionadas nos tanques contendo solução de NaOH.
- Antes das próximas leituras, o comparador de comprimentos era zerado com a utilização da haste padrão.
- Os procedimentos acima descritos foram repetidos até todas as barras estarem imersas em solução de NaOH, nos tanques à temperatura $(80\pm 5)^{\circ}\text{C}$.

A Figura 50 ilustra esse processo.

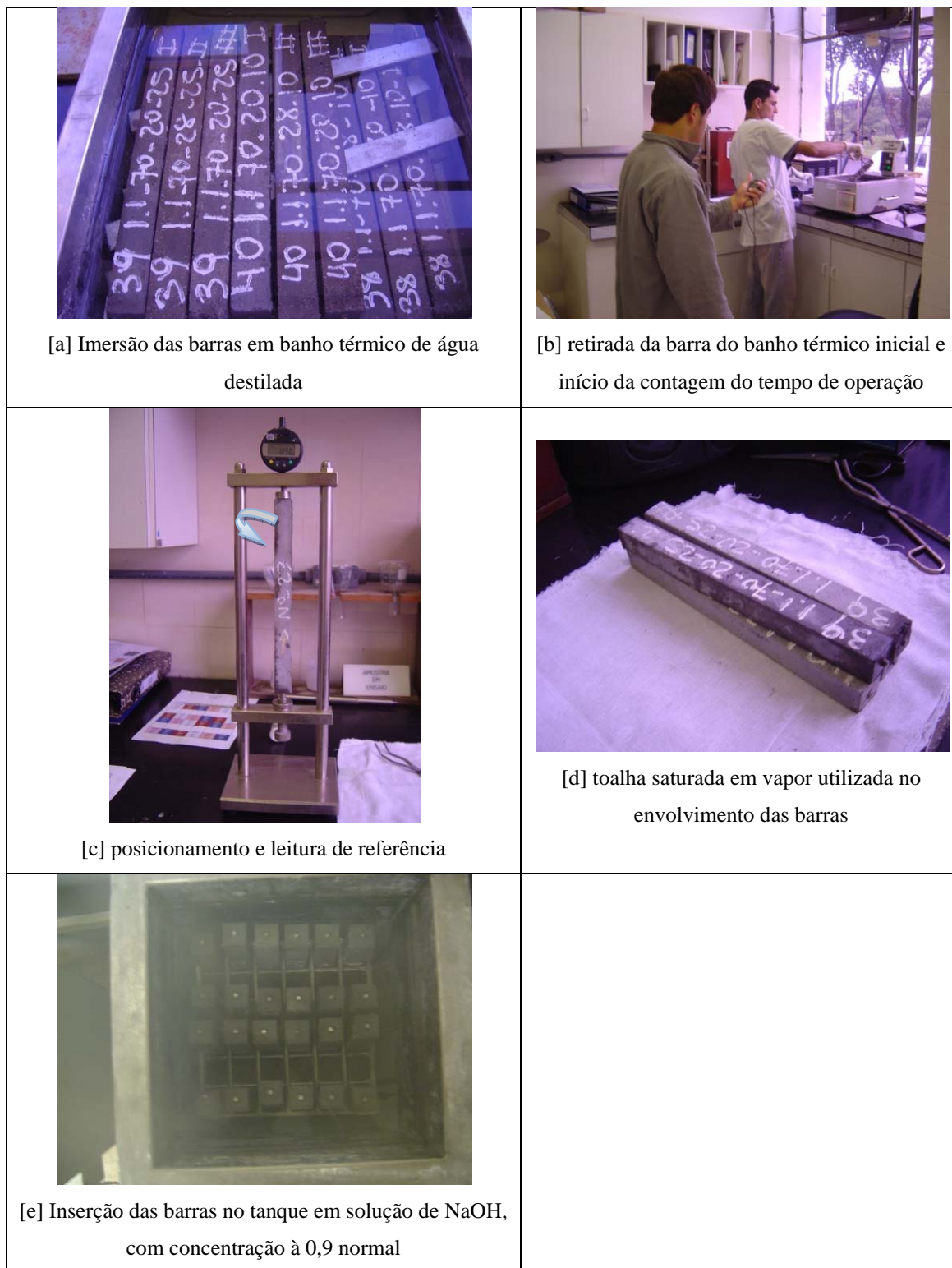


Figura 50 - Retirada do banho térmico, leituras de referência e imersão em solução de NaOH, das barras de argamassa.

3.5.6 Acompanhamento das variações de comprimento das barras

As barras eram então avaliadas diariamente (somente em dias úteis), uma a uma, quanto a sua variação do seu comprimento.

Para cada barra retirada do tanque, era realizada a leitura de seu comprimento relativo, conforme procedimento descrito no item 3.5.5 e em seguida retornada ao interior do tanque do qual foi retirada. Após o retorno, a próxima barra era retirada.

Esse procedimento era repetido até que todas as barras tivessem o seu comprimento relativo avaliado. Cabe ressaltar, que, a cada três barras avaliadas, o equipamento comparador era zerado com o emprego da haste padrão.

Os procedimentos podem ser melhores visualizados na Figura 52.

A cada três dias retirava-se uma amostra de solução de cada tanque e verificava-se a concentração de NaOH, por titulação.

Visando manter o nível da solução acima dos topos das barras, no interior dos tanques, introduziam-se barras de argamassa auxiliares, nas linhas intermediárias vazias, de forma a afetar o mínimo a concentração da solução de NaOH do tanque, conforme a Figura 51.

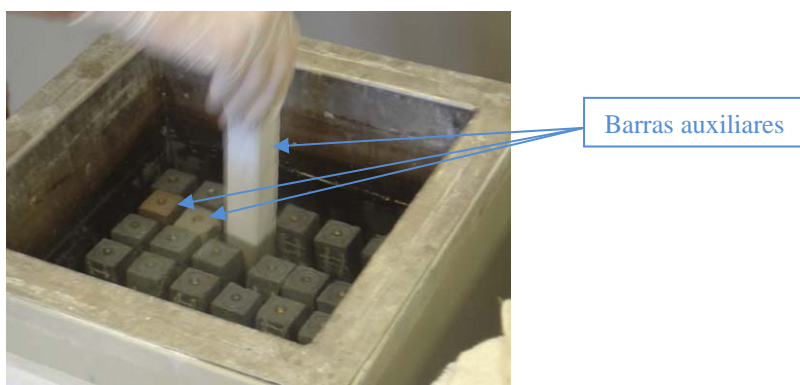


Figura 51 - Introdução de barras auxiliares, para o controle do nível da solução de NaOH.



[a] Avaliação da temperatura do tanque



[b] Aferição do comparador



[c] Retirada de uma barra do tanque e início da mensuração do tempo de operação



[d] Posicionamento, giro e leitura da barra no comparador



[e] Recolocação da barra no tanque, correspondendo ao final da mensuração do tempo de operação, para retirada da próxima barra



[f] Re-aferição do comparador com a haste padrão a cada três barras lidas

Figura 52 - Procedimentos diários de acompanhamento das expansões das barras de argamassa.

Após as anotações dos comprimentos relativos, as barras tinham suas expansões individuais, em cada idade de avaliação, determinadas pela expressão:

$$e(\%) = \frac{L_{id} - L_{rf}}{C_{ef}} \cdot 100 \quad [3.5.1]$$

Onde:

- $e(\%)$: expansão da barra expressa em porcentagem;
- L_{id} : Leitura obtida no comparador na idade de avaliação (mm);
- L_{rf} : Leitura obtida no comparador na idade de referência (mm), ou seja, efetuada logo após a retirada do banho térmico em água destilada;
- C_{ef} : Comprimento efetivo de medida nominal (mm), equivalente a distância entre as extremidades internas dos pinos (250 mm).

Com os resultados individuais, foram calculados a média, o desvio padrão e coeficiente de variação, de cada conjunto de 3 (três) barras submetidas as mesmas condições de contorno.

A expansão, para um determinado conjunto de barras, a uma dada idade, era expressa pela média das expansões das barras, expressa em porcentagem, com aproximação de duas casas decimais.

3.5.7 Ensaio de referência

Como já exposto anteriormente, 1 (um) dia após a moldagem das argamassas submetidas a cura térmica inicial, em água destilada, à 90°C, foi moldada mais uma série com 3 (três) barras, as quais foram submetidas as condições de contorno preconizadas na NBR 15577-4 (ABNT, 2008d).

Esta moldagem serviu de referência para efeito de comparação aos ensaios que tiveram seus fatores de contorno manipulados.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do programa experimental, bem como as suas análises, visando avaliar as respostas aos objetivos da presente pesquisa, de forma a confirmar ou não as hipóteses levantadas.

Os resultados aqui apresentados têm restrição às amostras de materiais e aos procedimentos empregados nesta pesquisa.

4.1 RESULTADOS GERAIS DAS DIFERENTES COMBINAÇÕES

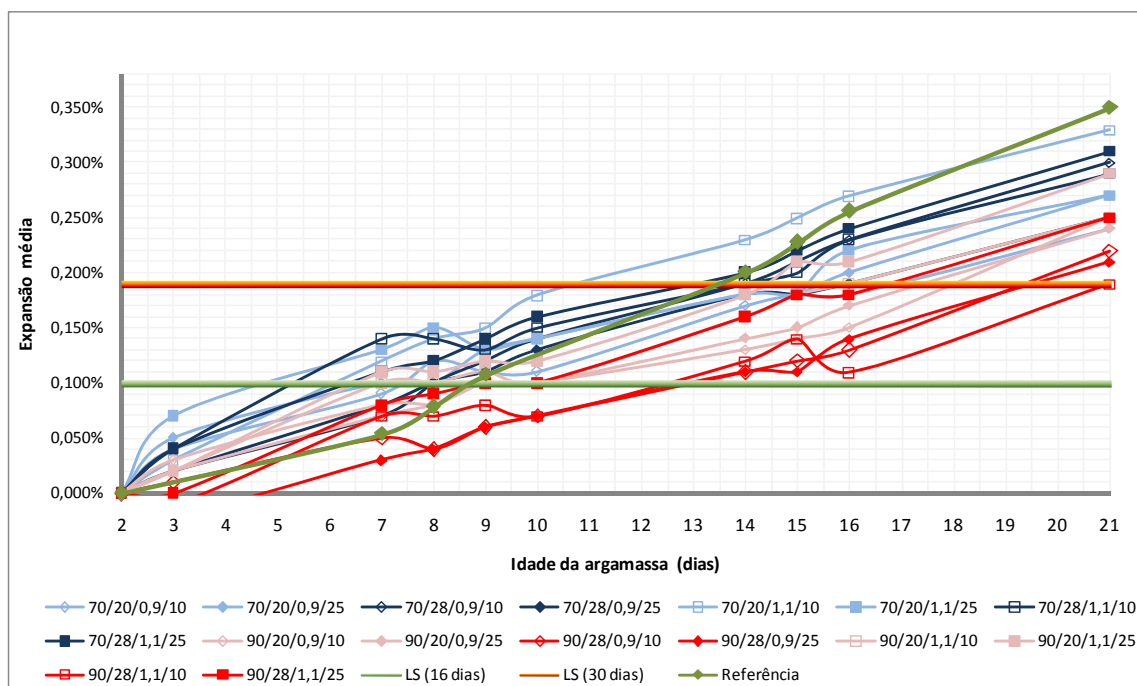
A Tabela 15 e o Gráfico 8 apresentam as expansões das diferentes combinações dos fatores manipulados nesta pesquisa em comparação ao ensaio de referência.

Os resultados individuais de cada ensaio podem ser visualizados no Apêndice A.

Tabela 15 – Resultados das expansões médias para as diferentes combinações de fatores

T°C/T(h)/C(N)/t(s)	Valores médios de expansão a idade (dias) de								
	2	7	8	9	14	15	16	21	30
70/20/0,9/10	0,00%	0,09%	0,12%	0,11%	0,17%	0,18%	0,18%	0,24%	0,37%
70/20/0,9/25	0,00%	0,10%	0,10%	0,13%	0,18%	0,18%	0,20%	0,27%	0,36%
70/28/0,9/10	0,00%	0,07%	0,10%	0,12%	0,19%	0,21%	0,23%	0,30%	0,40%
70/28/0,9/25	0,00%	0,08%	0,10%	0,11%	0,18%	0,18%	0,19%	0,25%	0,36%
70/20/1,1/10	0,00%	0,12%	0,14%	0,15%	0,23%	0,25%	0,27%	0,33%	0,45%
70/20/1,1/25	0,00%	0,13%	0,15%	0,13%	0,18%	0,18%	0,22%	0,27%	0,38%
70/28/1,1/10	0,00%	0,14%	0,14%	0,13%	0,19%	0,20%	0,23%	0,29%	0,40%
70/28/1,1/25	0,00%	0,11%	0,12%	0,14%	0,20%	0,22%	0,24%	0,31%	0,40%
90/20/0,9/10	0,00%	0,08%	0,08%	0,10%	0,13%	0,14%	0,15%	0,25%	0,35%
90/20/0,9/25	0,00%	0,07%	0,08%	0,10%	0,14%	0,15%	0,17%	0,24%	0,34%
90/28/0,9/10	0,00%	0,05%	0,04%	0,06%	0,11%	0,12%	0,13%	0,22%	0,31%
90/28/0,9/25	0,00%	0,03%	0,04%	0,06%	0,11%	0,11%	0,14%	0,21%	0,31%
90/20/1,1/10	0,00%	0,10%	0,10%	0,11%	0,16%	0,18%	0,19%	0,25%	0,35%
90/20/1,1/25	0,00%	0,11%	0,11%	0,12%	0,18%	0,21%	0,21%	0,29%	0,42%
90/28/1,1/10	0,00%	0,07%	0,07%	0,08%	0,12%	0,14%	0,11%	0,19%	0,28%
90/28/1,1/25	0,00%	0,08%	0,09%	0,10%	0,16%	0,18%	0,18%	0,25%	0,35%
Ensaio Padrão (80/24/1,0/8)	0,00%	0,05%	0,08%	0,11%	0,20%	0,23%	0,26%	0,35%	0,44%

Gráfico 8 - Resultados das expansões para diferentes combinações em comparação ao ensaio padrão



Pode-se notar que praticamente todas as expansões, aos 16 dias de idade, para as diferentes combinações encontram-se abaixo do resultado da expansão do ensaio padrão. Esta verificação pode ser confirmada aos 30 dias de idade.

Trata-se do primeiro indício da confirmação das preposições dos autores do método, ou seja, as condições do ensaio são as que levam as maiores expansões

Entretanto é importante destacar que a maior expansão aos 16 dias, foi a do conjunto de barras que sofreram uma cura térmica inicial em água destilada à 70°C, durante 20 horas, submetidas à imersão em solução de NaOH com concentração de 1,1 normal e tempo de operação entre dez e quinze segundos.

Outro fato que se pode observar na visão global do conjunto de resultados, é que, na grande maioria dos casos, as barras que sofreram uma cura térmica inicial em água destilada à 70°C, sofreram maiores expansões do que as submetidas a esta mesma cura térmica à 90°C.

Não se pode deixar de destacar, a queda da expansão de 15 para 16 dias, ocorrida no conjunto de barras que sofreram cura térmica inicial de 90°C, durante 28 horas, submetidas à imersão em solução de NaOH à concentração de 1,1 Normal e tempo de operação de 10 segundos. Este fato se deve a algum erro aleatório, não detectado, durante a realização do experimento.

Avaliando-se a os resultados, aos 16 dias de idade, sem considerar-se o valor da combinação (90°C/28h/1,1N/10s), tem-se uma amplitude de 0,14%, a qual se demonstra bastante significativa, para um limite de 0,19% de expansão nessa idade, o qual considera um agregado como sendo deletério.

Esta amplitude agrava-se aos 30 dias de idade, na qual se obteve o valor de 0,17%.

4.2 RESULTADOS DO EFEITO DA TEMPERATURA DE CURA TÉRMICA INICIAL

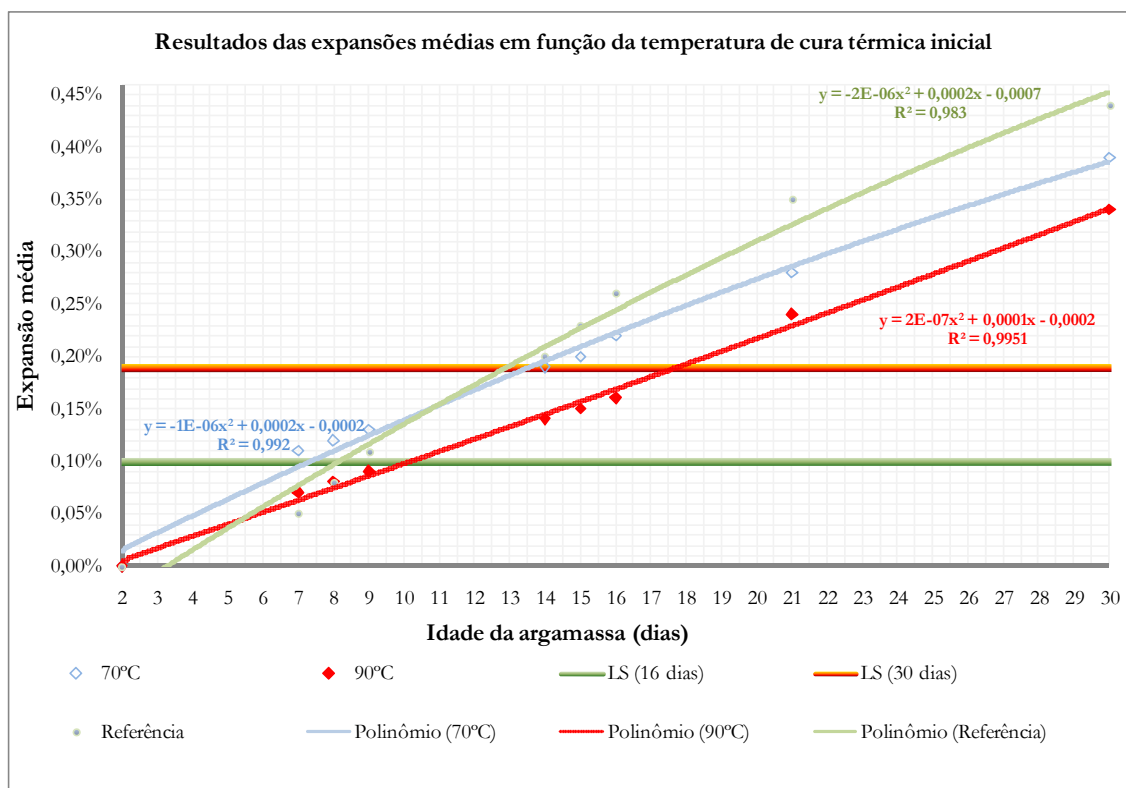
Na Tabela 16, a seguir, são apresentados os resultados dos valores médios, de todas as combinações que foram submetidas à cura inicial de 70°C e 90°C, respectivamente, bem como, os resultados do ensaio padrão.

Tabela 16 – Resultados das expansões médias para as diferentes condições de cura térmica inicial

Efeito Temperatura de Cura Térmica Inicial em Água Destilada (70°C e 90°C)									
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30
70°C	0,00%	0,11%	0,12%	0,13%	0,19%	0,20%	0,22%	0,28%	0,39%
90°C	0,00%	0,07%	0,08%	0,09%	0,14%	0,15%	0,16%	0,24%	0,34%
Padrão (80°C)	0,00%	0,05%	0,08%	0,11%	0,20%	0,23%	0,26%	0,35%	0,44%

O Gráfico 9 ilustra os resultados acima.

Gráfico 9 – Avaliação do efeito da temperatura de cura térmica inicial nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo



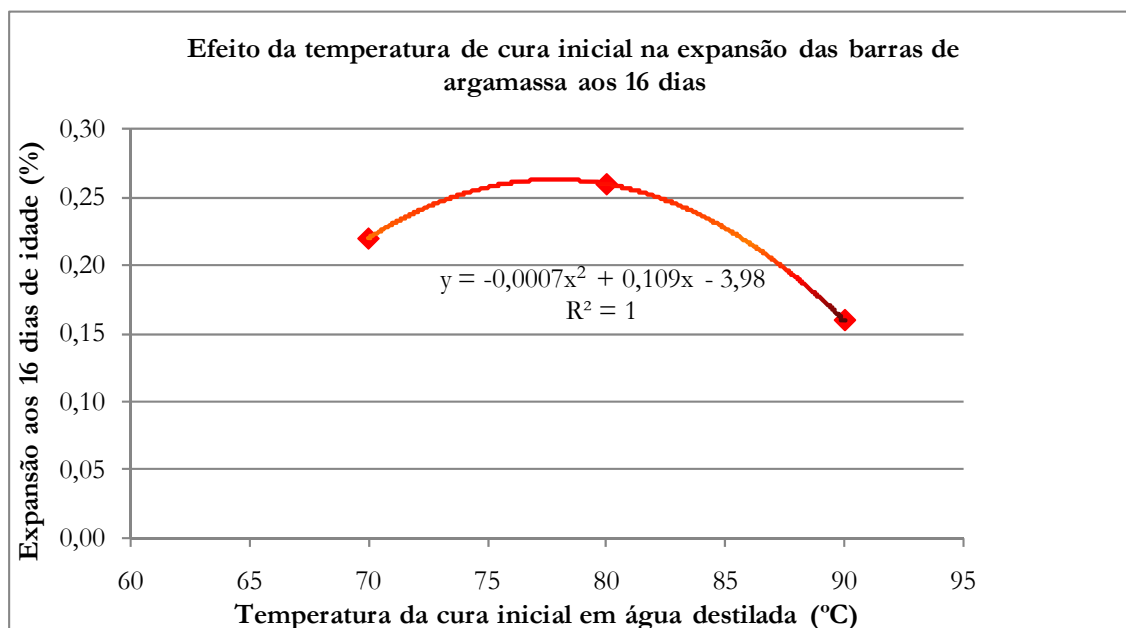
Como já descrito no item 4.1 pode-se notar novamente que as maiores expansões, tanto aos 16 quanto aos 30 dias, ocorreram no ensaio padrão e os resultados das expansões, das barras que sofreram uma cura térmica inicial a 70°C, foram em média, 36% superiores a das que sofreram uma cura térmica inicial a 90°C, conforme se verifica na Tabela 17.

Tabela 17 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, em cura térmica inicial as temperaturas de 70°C e 90°C.

Efeito Temperatura de Cura Térmica Inicial em Água Destilada (70°C e 90°C)										
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30	Média
70°C	0,00%	0,11%	0,12%	0,13%	0,19%	0,20%	0,22%	0,28%	0,39%	
90°C	0,00%	0,07%	0,08%	0,09%	0,14%	0,15%	0,16%	0,24%	0,34%	
Diferença	-	0,04%	0,04%	0,04%	0,05%	0,05%	0,06%	0,04%	0,05%	0,05%
Aumento	-	57,1%	50,0%	44,4%	35,7%	33,3%	37,5%	16,7%	14,7%	36%

Analisando-se os resultados das expansões médias, aos 16 dias de idade, pode-se obter uma regressão aderida, conforme a ilustrado no Gráfico 12.

Gráfico 10 – Regressão para o efeito da temperatura de cura térmica inicial na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.



Aplicando-se o intervalo de temperatura da cura térmica inicial proposto na NBR 1577-4 (ABNT, 2006d), de $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$, obtém-se através da regressão acima, expansões iguais 0,26%, o que confirma a confiabilidade deste intervalo normativo para o presente estudo. O mesmo ocorre para as expansões aos 30 dias

4.3 RESULTADOS DO EFEITO DO TEMPO DE PERMANÊNCIA EM CURA TÉRMICA INICIAL

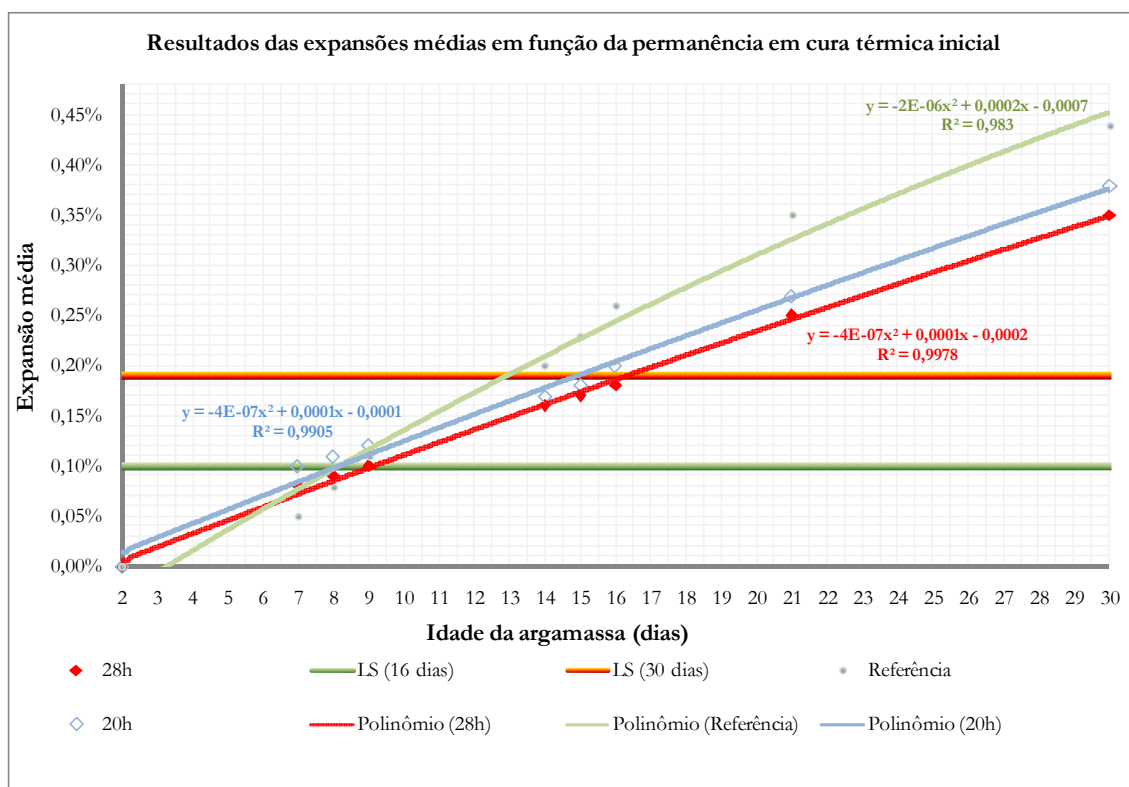
Na Tabela 18, a seguir, são apresentados os resultados dos valores médios, de todas as combinações que foram submetidas à permanência em cura térmica inicial de 20 horas e 28 horas, respectivamente, juntamente com os resultados do ensaio padrão.

Tabela 18 - Resultados das expansões médias para as diferentes permanências em cura térmica inicial

Efeito do Tempo de Cura Térmica Inicial em Água Destilada (20h e 28h)									
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30
20h	0,00%	0,10%	0,11%	0,12%	0,17%	0,18%	0,20%	0,27%	0,38%
28h	0,00%	0,08%	0,09%	0,10%	0,16%	0,17%	0,18%	0,25%	0,35%
Padrão (24h)	0,00%	0,05%	0,08%	0,11%	0,20%	0,23%	0,26%	0,35%	0,44%

O Gráfico 11 ilustra esses resultados.

Gráfico 11 – Avaliação do efeito do tempo de permanência em cura térmica inicial nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo



Mais uma vez, se verifica que as maiores expansões, tanto aos 16 quanto aos 30 dias, ocorreram no ensaio padrão.

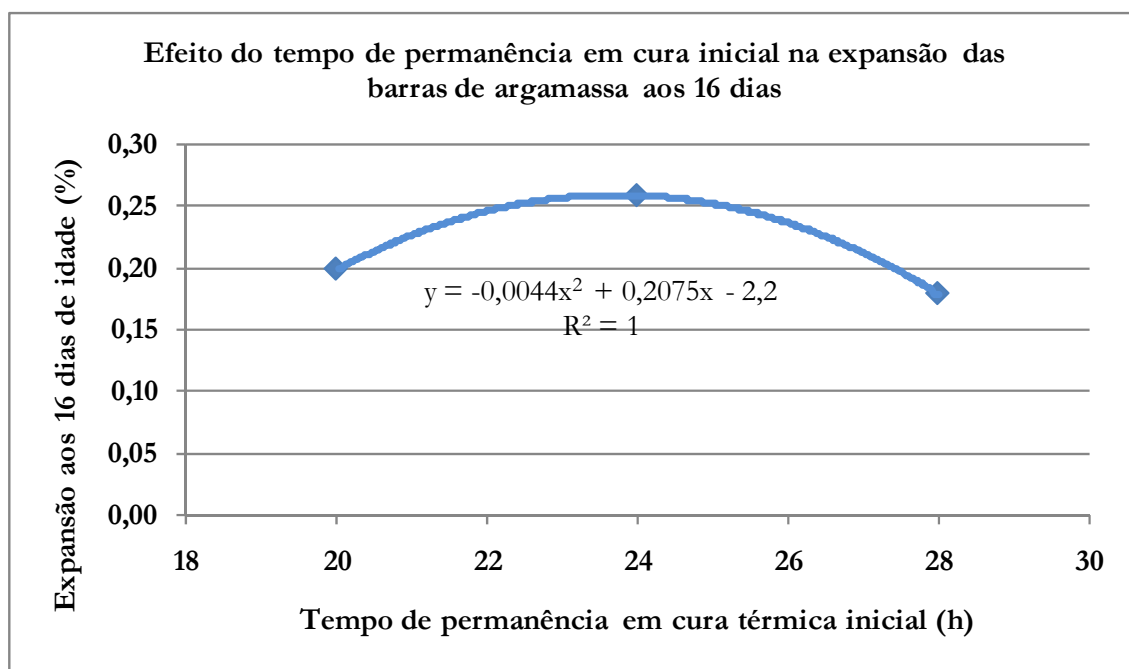
Pode-se notar também que os resultados das expansões para os tempos de permanência de 20 horas, foram em média, 11% superiores as de 28 horas, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, em cura térmica inicial, para os tempos de permanência de 20h e 28h.

Efeito do Tempo de Cura Térmica Inicial em Água Destilada (20h e 28h)										
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30	Média
20h	0,00%	0,10%	0,11%	0,12%	0,17%	0,18%	0,20%	0,27%	0,38%	
28h	0,00%	0,08%	0,09%	0,10%	0,16%	0,17%	0,18%	0,25%	0,35%	
Diferença	-	0,02%	0,02%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,03%	0,02%
Aumento	-	20,0%	18,2%	8,3%	11,8%	11,1%	10,0%	3,7%	7,9%	11%

Realizando-se a análise dos resultados das expansões médias, aos 16 dias de idade, se obtém uma regressão aderida, conforme a ilustrado no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Regressão para o efeito do tempo de cura térmica inicial na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.



Aplicando-se o período de permanência em cura térmica inicial proposto na NBR 1577-4 (ABNT, 2006d), de 24h, obtém-se através da regressão acima, expansões iguais a 0,25%. Entretanto qualquer intervalo de variação de no mínimo 1 (uma) hora, já altera esse resultado. Novamente o valor normativo é comprovado para o presente estudo. O mesmo ocorre para os 30 dias de idade.

4.4 RESULTADOS DO EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO DE NaOH

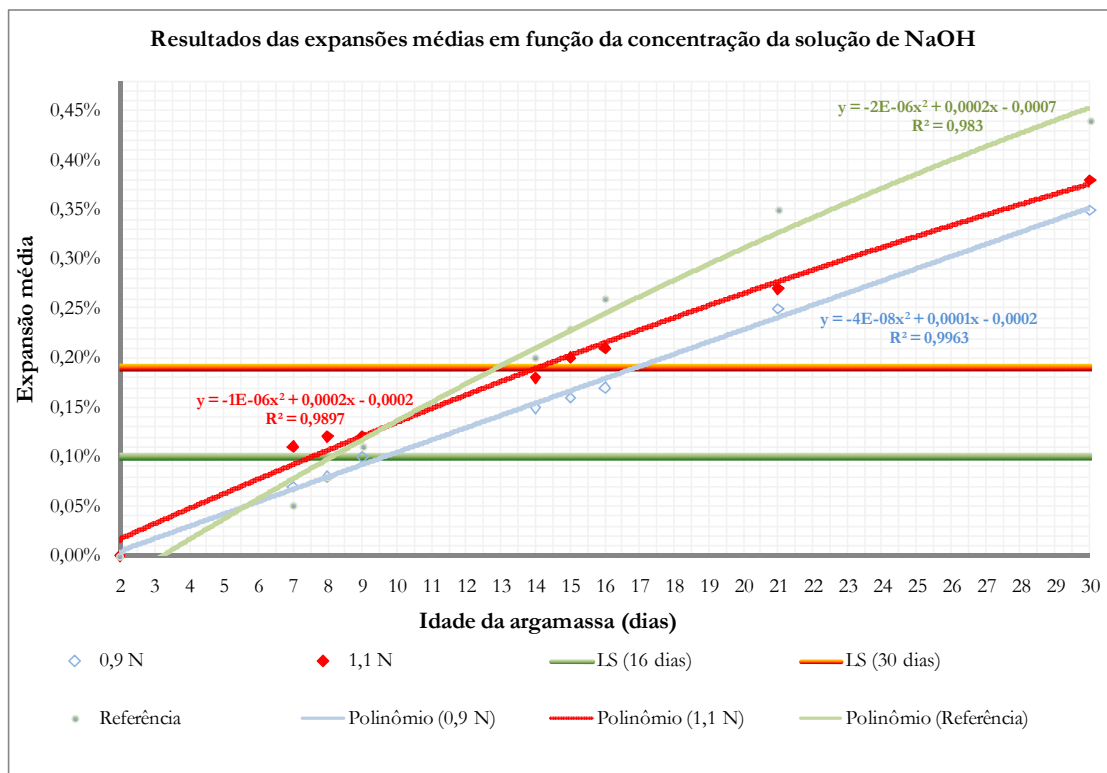
Na Tabela 20 - Resultados das expansões médias para diferentes a seguir, são apresentados os resultados dos valores médios, de todas as combinações que foram submetidas à cura inicial de 70°C e 90°C, respectivamente, bem como, os resultados do ensaio padrão.

Tabela 20 - Resultados das expansões médias para diferentes concentrações da solução de NaOH

Efeito da Concentração da Solução de NaOH (1,1 N e 0,9N)									
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30
0,9 N	0,00%	0,07%	0,08%	0,10%	0,15%	0,16%	0,17%	0,25%	0,35%
1,1 N	0,00%	0,11%	0,12%	0,12%	0,18%	0,20%	0,21%	0,27%	0,38%
Padrão (1N)	0,00%	0,05%	0,08%	0,11%	0,20%	0,23%	0,26%	0,35%	0,44%

O Gráfico 13 permite uma melhor visualização destes resultados.

Gráfico 13 – Avaliação do efeito da concentração da solução de NaOH nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo



Verifica-se, outra vez, que as maiores expansões, aos 16 e 30 dias, ocorreram no ensaio padrão.

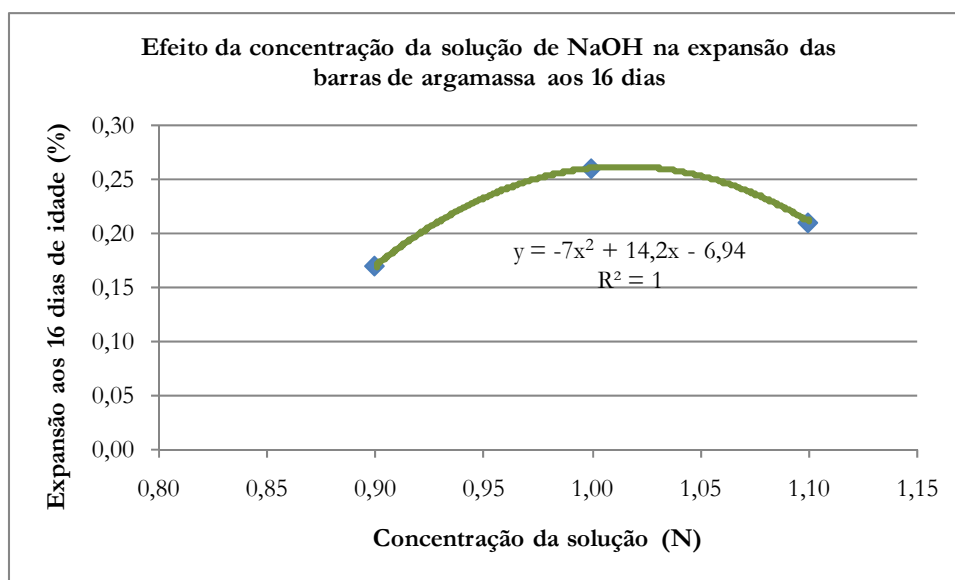
Pode-se notar também, que, os resultados das expansões para as barras que permaneceram imersas, em solução de NaOH, com uma concentração de 1,1 normal, foram em média, 27% superiores as imersas em solução com uma concentração de 0,9 normal. Conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Comparativo do aumento das expansões, das barras de argamassa, para as concentrações da solução de NaOH, em 0,9 e 1,1 N.

Efeito da Concentração da Solução de NaOH (1,1 N e 0,9N)										
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30	Média
0,9 N	0,00%	0,07%	0,08%	0,10%	0,15%	0,16%	0,17%	0,25%	0,35%	
1,1 N	0,00%	0,11%	0,12%	0,12%	0,18%	0,20%	0,21%	0,27%	0,38%	
Diferença	-	0,04%	0,04%	0,02%	0,03%	0,04%	0,04%	0,02%	0,03%	0,03%
Aumento	-	57,1%	50,0%	20,0%	20,0%	25,0%	23,5%	8,0%	8,6%	27%

Ao se efetuar a análise dos resultados das expansões médias, aos 16 dias de idade, se obtém uma regressão aderida, conforme a ilustrado no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Regressão para o efeito da concentração da solução de NaOH na expansão da argamassa aos 16 dias de idade.



Aplicando-se a faixa de concentração, da solução de NaOH, preconizada NBR 1577-4 (ABNT, 2006d), de 0,99 a 1,01, obtém-se através da regressão acima, expansões iguais a 0,26%. A faixa normativa também é comprovada na presente pesquisa. O mesmo ocorre para as expansões aos 30 dias.

4.5 RESULTADOS DO EFEITO DO TEMPO DE OPERAÇÃO

Na Tabela 22 são apresentados os resultados dos valores médios, de todas as combinações que foram submetidas aos tempos de operação de 10 a 15 segundos e superiores a 25 segundos, respectivamente, juntamente com os resultados do ensaio padrão.

Tabela 22 - Resultados das expansões médias para diferentes tempos de operação

Efeito do Tempo de Operação (10s e 25s)									
Idade (dias)	2	7	8	9	14	15	16	21	30
>10s;<=15s	0,00%	0,09%	0,10%	0,11%	0,16%	0,18%	0,19%	0,26%	0,36%
>25s	0,00%	0,09%	0,10%	0,11%	0,17%	0,18%	0,19%	0,26%	0,37%
Padrão (8s)	0,00%	0,05%	0,08%	0,11%	0,20%	0,23%	0,26%	0,35%	0,44%
Diferença	-	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aumento	-	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

O valor de 8 (oito) segundos para o ensaio padrão foi auferido durante a realização deste, apesar das prescrições normativas permitirem um tempo de operação de até 20 s.

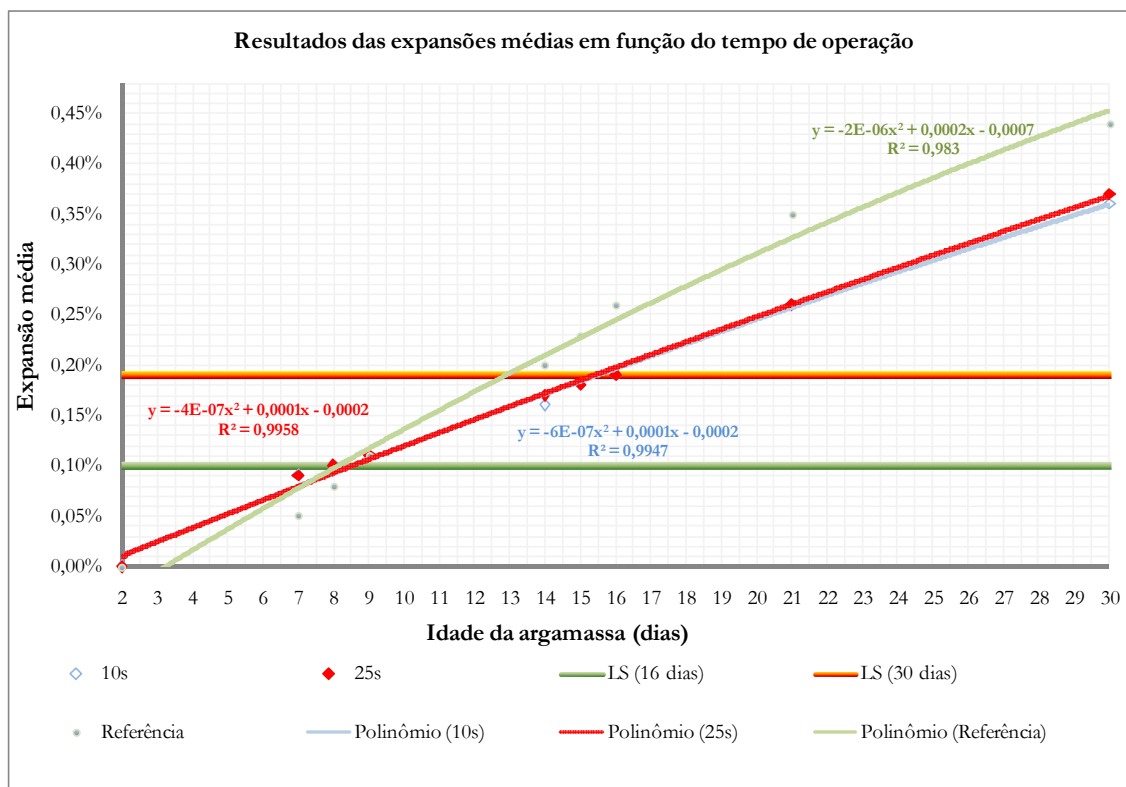
Nota-se que o ensaio padrão apresentou os maiores resultados de expansão aos 16 dias.

Outro fato importante a ser ressaltado é que o tempo de operação, praticamente não apresentou influência significativa na expansão, uma vez que, os resultados médios obtidos, dentro dos intervalos analisados, podem ser considerados equivalentes.

Esse fato pode ser visualizado no Gráfico 15.

.

Gráfico 15 – Avaliação do efeito do tempo de operação nas expansões das barras de argamassa ao longo do tempo.



4.6 ANÁLISE DA VARIÂNCIA

Visando avaliar a significância da influência dos parâmetros avaliados, assim como, das suas interações, no resultado da expansão, das barras de argamassa, aos 16 dias, foi desenvolvida planilha de cálculo no *software* MS-Excel 2007, com base no algoritmo de Yates (RIBEIRO E TEN CATEN, 2001).

Os resultados da análise da variância apontaram influência significativa, com 95% de confiabilidade, na expansão das barras de argamassa, aos 16 dias de idade, os seguintes fatores:

- Temperatura da cura térmica inicial (forte influência);
- Concentração da solução de NaOH (forte influência).

Já aos 30 dias de idade, além dos fatores apontados aos 16 dias, a combinação dos mesmos juntamente com o tempo de operação, bem como, a combinação de todos os fatores também apresentaram forte influência na expansão.

As planilhas de análise da variância as diversas idades, podem ser visualizadas no Apêndice B.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, com base nos resultados do programa experimental, válidos para os materiais e procedimentos aqui empregados.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos tratamentos estatísticos dos resultados, foi possível observar:

- a) O ensaio padrão, executado com os fatores dentro dos intervalos preconizados na NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), foi o que, em média, apresentou as maiores expansões, comprovando a teoria dos autores do método;
- b) Notou-se que a temperatura de 70°C gerou expansões, em média 27% superiores as obtidas para a temperatura de 90°C;
- c) Ao variar a concentração da solução de NaOH de 0,9N a 1,1N, gerou um aumento na resposta, em média, 27%.
- d) Os tempos de permanência em cura térmica inicial e de operação não exercem influência significativa no resultado da expansão, dentro dos respectivos intervalos analisados nesta pesquisa;
- e) Os intervalos normativos, para os fatores manipulados nessa pesquisa, mostraram-se confiáveis, pois não geraram variações significativas no resultado da expansão aos 16 e 30 dias;

Pôde-se observar uma influência dos fatores de ensaio, nos resultados das expansões aos 16 dias de amplitude de 0,14% entre os resultados, aumentando-se para 0,17% aos 30 dias.

Esta variação no resultado de expansão, se reproduzida, com a mesma influência dos fatores aqui empregados, gera dúvidas na classificação da reatividade dos agregados, principalmente, em casos de proximidade dos resultados aos limites normativos.

Cabe ressaltar que classificações errôneas, quanto à reatividade dos agregados, podem conduzir a tomadas de decisões falhas no desenvolvimento de traços de concreto, os quais podem gerar grandes conseqüências a durabilidade, sustentabilidade e até mesmo segurança das estruturas de concreto.

Durante a realização da pesquisa, alguns fatores relevantes foram observados:

- A temperatura, dos tanques de imersão das barras em solução de NaOH, é mantida por energia elétrica e regulada por termostato. Foi verificado que método de ensaio preconizado pela NBR 15577-4 (ABNT, 2008d) não recomenda o uso de monitores de temperatura, ou de fornecimento de energia.
- Como quedas de energia podem ocorrer durante a realização do ensaio, principalmente durante períodos sem acompanhamento (*e.g. a noite*), sugere-se que os laboratórios aptos à realização do ensaio, disponham de geradores de energia, assim como, de monitores de fornecimento de energia e de temperatura dos tanques;

- As normas C-1260 (ASTM, 2005) e CSA A.23.2.5 (CSA, 2000), fazem referência a norma C-490 (ASTM, 2004). Esta última apresenta metodologia, para a execução e cálculo das expansões. Já a NBR 15577-4 (ABNT, 2008d), não faz nenhuma menção a esta norma, bem como, não apresenta com clareza a forma de cálculo expansões, podendo gerar dúvidas e até mesmo resultados errôneos. Desta forma sugere-se aqui a revisão desta norma, visando uniformizar os cálculos das expansões.

- Dado que a concentração da solução de NaOH influi no resultado da expansão, e haja vista que, a tendência de aumentar a concentração desta ao longo do tempo, dada a evaporação durante a manipulação dos tanques de imersão, recomenda-se que a concentração da solução de NaOH seja monitorada e se necessário, corrigida ao longo da realização do ensaio.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando dar continuidade e complementar a presente pesquisa, sugere-se a execução dos seguintes trabalhos:

- reproduzir esta pesquisa em diferentes laboratórios, com agregados de diferentes litologias e complementando com a avaliação da influência de outros fatores (*e.g.* temperatura da solução de NaOH; tempo de permanência fora da solução de NaOH durante as leituras, forma de moagem, etc.);

- reproduzir esta pesquisa aos ensaios com prismas, tanto para os ensaios tradicionais, quanto para os ensaios acelerados;

- realizar pesquisas similares, com uma maior gama de agregados, com intervalos mais amplos, de forma a calibrar os intervalos de confiabilidade dos fatores intervenientes na expansão dos agregados.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C33/03**: *Standard Specification for Concrete Aggregates*

____**ASTM C227/03**: *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)*. Philadelphia: 2003.

____**ASTM C289/03**: *Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)*. Philadelphia: 2003.

____**ASTM C294/05**: *Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates*. Philadelphia: 2005.

____**ASTM C295/03**: *Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete*. Philadelphia: 2003.

____**ASTM C490/04**: *Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete*. Philadelphia: 2004.

____**ASTM C856/04**: *Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete*. Philadelphia: 2004.

____**ASTM C1260/05a**: *Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method)*. Philadelphia: 2005.

____**ASTM C1293/05a**: *Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*. Philadelphia: 2005.

ANDRADE, T. *et al.* Investigação do Potencial de Reatividade para o Desenvolvimento de RAA dos Agregados Miúdos e Graúdos Comercializados na Região Metropolitana do Recife. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006. Goiânia. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

ANDRIOLO, F. R. Ensaio para avaliação da potencialidade dos materiais quanto a reação álcali-agregado e ações decorrentes. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997a. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 35-43.

ANDRIOLO, F. R. Reação álcali-agregado: observação de âmbito internacional. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997b. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 205-211.

PECCHIO, M.; BATTAGIN, A. F. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2005. Relatório de Ensaio no. 35927.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: 2005.

_____. **NBR 7389:** Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro: 1992.

_____. **NBR 9773:** Agregado - Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento agregado – Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1987a.

_____. **NBR 9774:** Agregados – Verificação da reatividade potencial pelo método químico – Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1987b.

_____. **NBR 12655:** concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: 2006a.

_____. **Projeto 18:200.01-001/1:** Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: 2006b.

_____.**NBR 15577-1:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: 2008a.

_____.**NBR 15577-2:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro: 2008b.

_____.**NBR 15577-3:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. Rio de Janeiro: 2008c.

_____.**NBR 15577-4:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: 2008d.

_____.**NBR 15577-5:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: 2008e.

_____.**NBR 15577-6:** Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro: 2008f.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA): CSA A23.2-14A-00: Potential expansivity of aggregates (procedure for length change due to alkali-aggregate reaction in concrete prisms at 38 °C). Mississauga, 2000a.

_____.**CSA A23.2-25A-00:** *Detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars.* Mississauga, 2000b.

_____.**CSA A23.2-27A-00:** *Standard Practice to Identify Degree of Alkali-Reactivity of Aggregates and to Identify Measures to Avoid Deleterious Expansion in Concrete.* Mississauga, 2000b.

DA SILVA, C. A. R. *et al.* Métodos utilizados na investigação da reação álcali-agregado. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 54-60.

FOURNIER, *et al.* *Evaluating Potential Alkali-Reactivity of Concrete Aggregates – How Reliable are the Current and New Test Methods?*. **Revista IBRACON de Materiais**, v. 2, n.2, p. 67-81, dez 2006.

GAMBALE, E. A. *et al.* Estudo comparativo de resultados de ensaios de reatividade por diferentes métodos de ensaio. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 13-32.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Ed. Atlas S.A., 1996.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Porto Alegre, 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HELENE, P. R.; FIGUEIREDO, E. P. Introdução. In: **RED REHABILITAR. Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto. Reparo, Reforço e Proteção**. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003. p. 19-34.

HOOBS, D.W. *Alkali-silica reaction in concrete*. London: Thotmas Telford, 1988. 183p.

KIHARA, Y. Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos. In: 1º SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1986, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. p.127-138.

KUPERMAN, S. C. ; SALLES, F. M. ; PINFARI, J. C. ; CARNEIRO, E. F. A CESP e a detecção da reação álcali-agregado. In: 26º SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. **Anais...** Rio de Janeiro : CBDB, 2005.

MATHER, B. *How to make concrete that will not suffer deleterious alkali-silica reaction. Cement and Concrete Research, USA*, v.29, p. 1277-1280, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ed. IBRACON, 2008.

OLIVEIRA, P. J.; SALLES, F. M.; ANDRIOLLO, F. R. A Evolução da Reação Álcali-Agregado ao Longo do Tempo: 25 Anos de Observação. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 21-27.

PAULON, V.A. **Reações álcali-agregado em concreto**. São Paulo, 1981. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PECCHIO, M. et al. Produtos da Reação Álcali-Silicato em Concretos de Edificações da Região do Grande Recife - PE. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006. Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

PEDROZO, P. H.; SAVA, J.A.; S.; LACERDA, L. A.; PAULON, V.; SABBAG, A. F.; Carrazedo, R. Diagnóstico de previsão da degradação de estruturas de concreto devido a Reação Álcali-Agregado na UHE Mascarenhas. LACTEC, Relatório Técnico. Acesso em 12 de abril de 2006: <http://www.lactec.org.br/publicacoes/2003/18-2003-citeneldiagnostico-previsao.pdf>.

PREZZI, M. et al., Importância da química de superfície na reação álcali-agregado. In: 1º SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1986, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. p.173-196.

RIBEIRO, C. **Análise da eficiência de pozolana e dos cimentos CP IV RS e CP V RS para inibição da reação álcali-agregado**. Curitiba, 2000. 46 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, F.A.; MONTEIRO, P.J.M.; SPOSITO, G. *The alkali-silica reaction: The surface charge density of silica and its effect on expansive pressure. Cement and Concrete Research*, ed. 29, v. 4, p. 527-530, abr 1999.

SABBAG, A. F. **Verificação da existência de reação álcali-agregado no concreto da UHE de Mascarenhas**. Curitiba, 2003. 119 f. Tese (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

SALLES, F.M.; KUPERMAN, S.C.; BERTOLUCCI, L.D.V. Ensaio acelerado para verificação da RAA em prismas de concreto. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006. Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos.** São Paulo, 2007. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

STANTON, T. E. *Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate.* In: *Proceedings of American Society of Civil Engineers.* v. 66, n. 10. Dec. 1940, p. 1781-1811.

TAYLOR, H.F.W. **Cement Chemistry.** London: Academic Press, 1990.

THOMAS, M. et al. *Test methods for evaluating preventive measures for controlling expansion due to alkali-silica reaction in concrete.* **Cement and Concrete Research**, jun 2006.

TIECHER, et al. Avaliação da Utilização do Cimento de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos no Combate à Reação Álcali-Agregado. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006. Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

TIECHER, et al. *A Reatividade dos Agregados do Sul do Brasil.* **Revista IBRACON de Materiais**, v. 3, n.1, p. 82-91, mar 2007.

VALDUGA, L. **Reação álcali-agregado - mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo.** Campinas, 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

VALDUGA, L. **Influência das condições de ensaio da ASTM C 1260 na verificação da reação álcali-agregado.** Porto Alegre, 2007. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

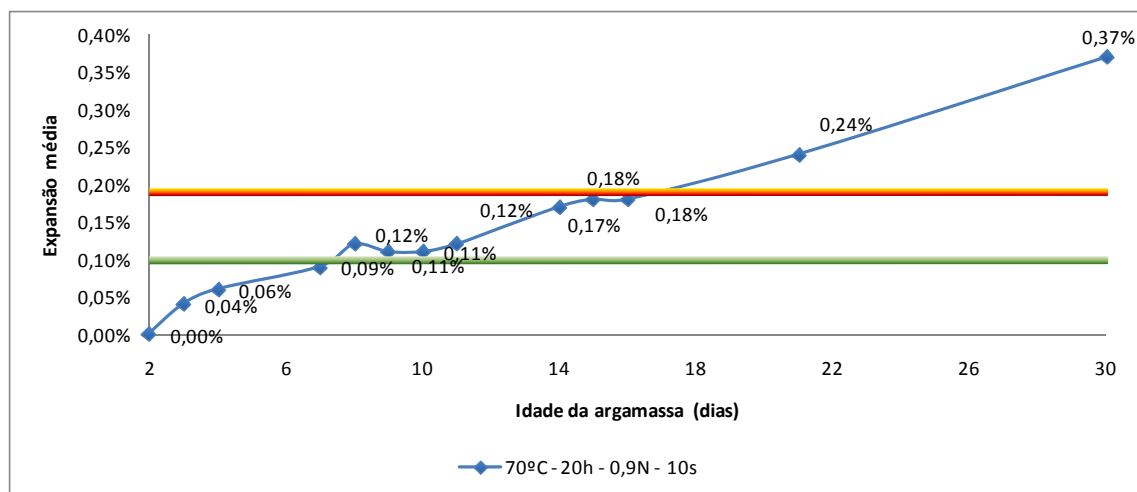
VEIGA, F. et al. Reação álcali-agregado: a utilização da técnica de microscopia eletrônica de varredura na identificação de seus produtos. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1., 1997. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997. p. 13-32.

APÊNDICE A – RESULTADOS DAS EXPANSÕES PARA AS DIFERENTES COMBINAÇÕES

Planilha A.1. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/0,9N/10s.

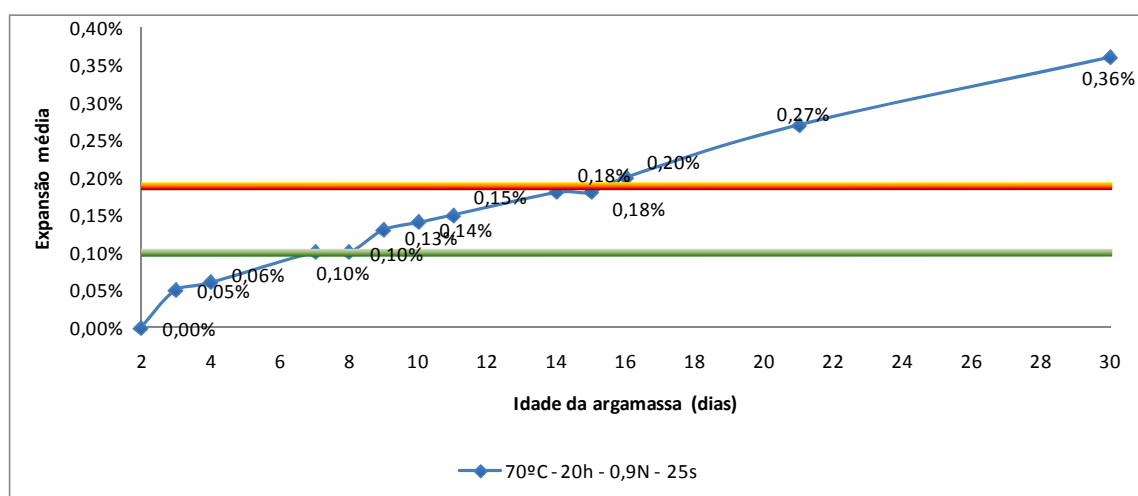
CP	70°C - 20h - 0,9N - 10s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,048%	0,062%	0,102%	0,142%	0,118%	0,160%	0,164%	0,217%	0,231%	0,230%	0,280%	0,427%
II	0,000%	0,040%	0,063%	0,089%	0,119%	0,105%	0,045%	0,061%	0,099%	0,100%	0,081%	0,153%	0,270%
III	0,000%	0,044%	0,054%	0,090%	0,114%	0,098%	0,138%	0,144%	0,188%	0,205%	0,224%	0,288%	0,399%
Soma	0,000%	0,133%	0,179%	0,281%	0,375%	0,320%	0,343%	0,368%	0,505%	0,536%	0,535%	0,721%	1,096%
Média	0,00%	0,04%	0,06%	0,09%	0,12%	0,11%	0,11%	0,12%	0,17%	0,18%	0,18%	0,24%	0,37%
sd	-	0,004%	0,005%	0,007%	0,015%	0,010%	0,061%	0,055%	0,062%	0,069%	0,084%	0,076%	0,084%
CV	-	10,0%	7,8%	7,7%	12,2%	9,4%	55,5%	45,5%	36,2%	38,5%	46,8%	31,5%	22,7%

Gráfico A.1. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/0,9N/10s.



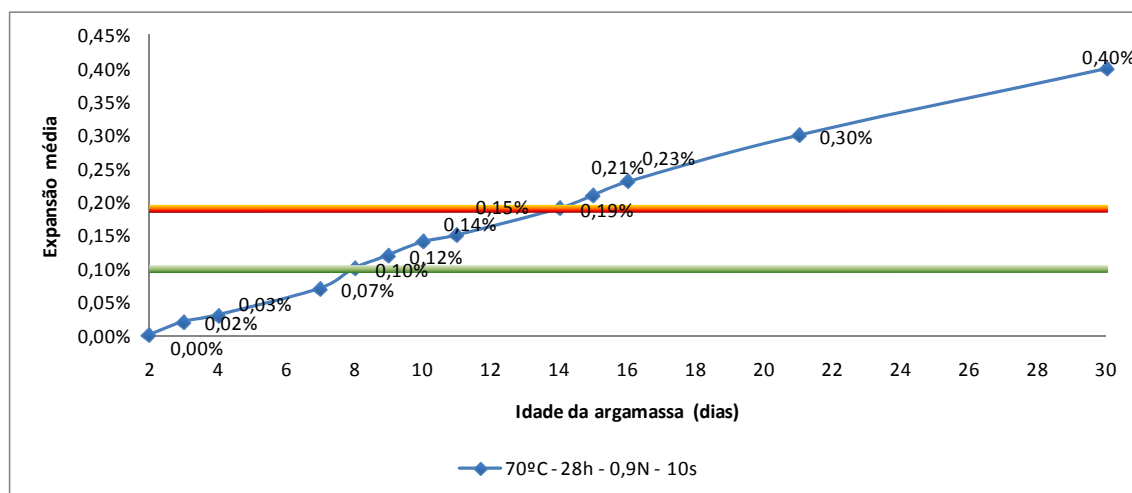
Planilha A.2. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/0,9N/25s.

CP	70°C - 20h - 0,9N - 25s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,039%	0,046%	0,089%	0,106%	0,114%	0,121%	0,131%	0,176%	0,172%	0,152%	0,228%	0,340%
II	0,000%	0,026%	0,081%	0,121%	0,106%	0,184%	0,202%	0,204%	0,232%	0,245%	0,311%	0,370%	0,452%
III	0,000%	0,075%	0,038%	0,091%	0,096%	0,094%	0,109%	0,106%	0,143%	0,128%	0,124%	0,203%	0,292%
Soma	0,000%	0,140%	0,165%	0,301%	0,309%	0,392%	0,432%	0,441%	0,551%	0,545%	0,587%	0,800%	1,084%
Média	0,00%	0,05%	0,06%	0,10%	0,10%	0,13%	0,14%	0,15%	0,18%	0,18%	0,20%	0,27%	0,36%
sd	0,000%	0,026%	0,023%	0,018%	0,006%	0,048%	0,050%	0,051%	0,045%	0,059%	0,101%	0,090%	0,082%
CV	-	51,4%	38,4%	18,1%	5,7%	36,6%	36,0%	33,9%	25,2%	32,8%	50,5%	33,3%	22,8%

Gráfico A.2. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/0,9N/25s.

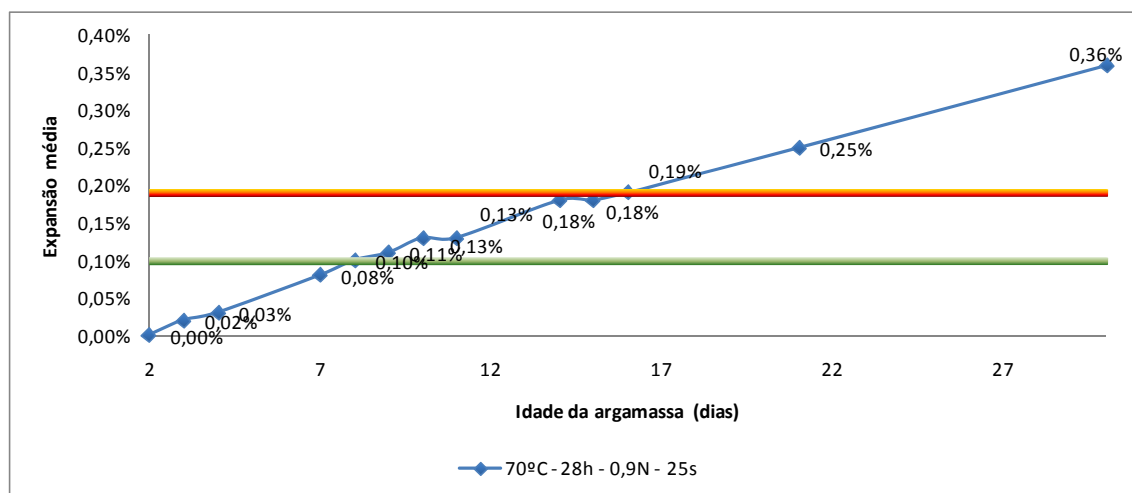
Planilha A.3. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/0,9N/10s.

CP	70°C - 28h - 0,9N - 10s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,030%	0,046%	0,082%	0,122%	0,112%	0,138%	0,144%	0,188%	0,205%	0,224%	0,288%	0,399%
II	0,000%	0,012%	0,024%	0,066%	0,089%	0,118%	0,142%	0,161%	0,186%	0,209%	0,234%	0,298%	0,410%
III	0,000%	0,008%	0,023%	0,058%	0,076%	0,122%	0,143%	0,140%	0,202%	0,210%	0,231%	0,301%	0,396%
Soma	0,000%	0,050%	0,093%	0,205%	0,287%	0,351%	0,422%	0,445%	0,576%	0,623%	0,689%	0,887%	1,204%
Média	0,00%	0,02%	0,03%	0,07%	0,10%	0,12%	0,14%	0,15%	0,19%	0,21%	0,23%	0,30%	0,40%
sd	-	0,012%	0,013%	0,012%	0,023%	0,005%	0,003%	0,011%	0,008%	0,003%	0,005%	0,007%	0,007%
CV	-	58,3%	42,0%	17,8%	23,3%	4,4%	2,1%	7,3%	4,4%	1,2%	2,2%	2,3%	1,8%

Gráfico A.3. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/0,9N/10s.

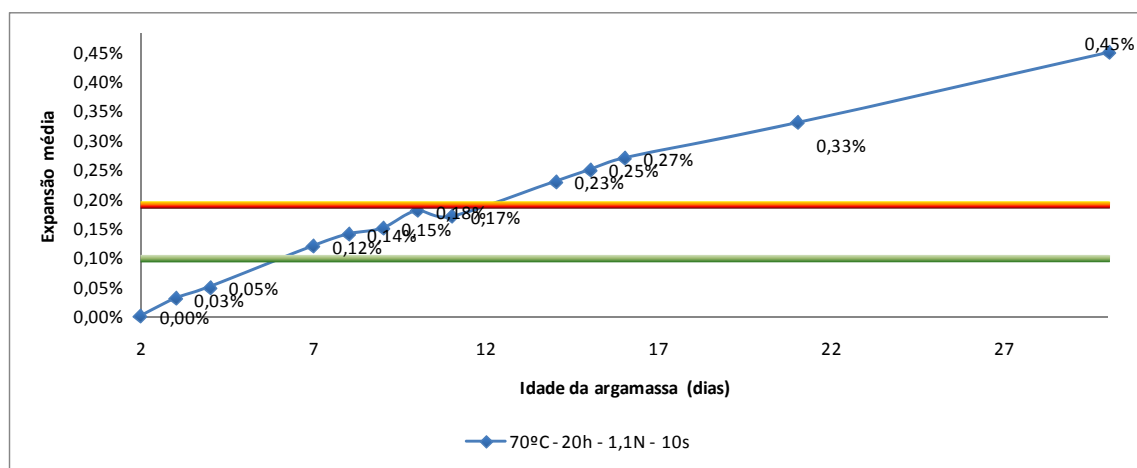
Planilha A.4. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/0,9N/25s.

CP	70°C - 28h - 0,9N - 25s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,001%	0,036%	0,065%	0,072%	0,101%	0,126%	0,120%	0,172%	0,176%	0,194%	0,251%	0,364%
II	0,000%	0,020%	0,025%	0,113%	0,112%	0,114%	0,141%	0,143%	0,190%	0,166%	0,174%	0,242%	0,361%
III	0,000%	0,040%	0,028%	0,074%	0,108%	0,110%	0,132%	0,128%	0,181%	0,184%	0,206%	0,270%	0,362%
Soma	0,000%	0,060%	0,089%	0,252%	0,292%	0,325%	0,400%	0,392%	0,542%	0,526%	0,574%	0,763%	1,087%
Média	0,00%	0,02%	0,03%	0,08%	0,10%	0,11%	0,13%	0,13%	0,18%	0,18%	0,19%	0,25%	0,36%
sd	0,000%	0,019%	0,006%	0,025%	0,022%	0,006%	0,008%	0,012%	0,009%	0,009%	0,016%	0,015%	0,002%
CV	-	96%	19%	32%	22%	6%	6%	9%	5%	5%	8%	6%	0%

Gráfico A.4. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/0,9N/25s.

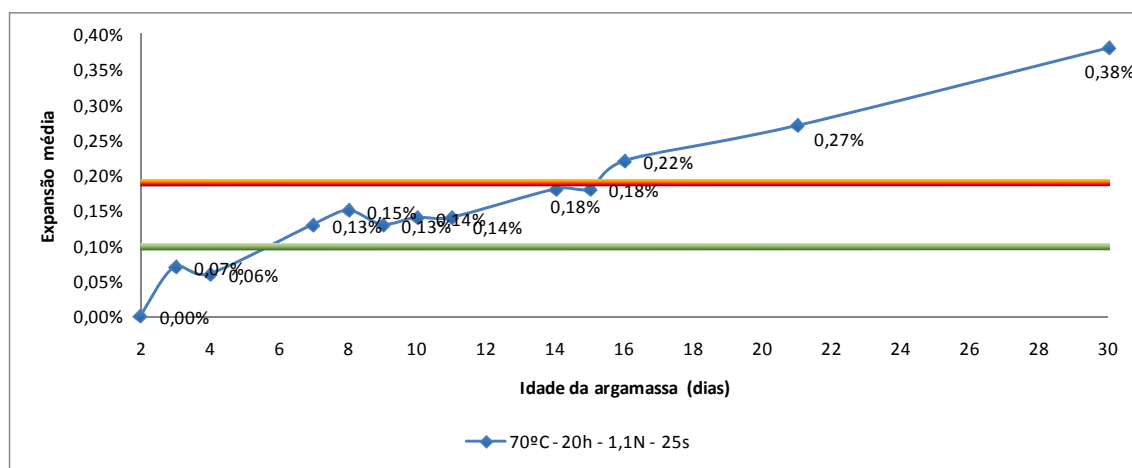
Planilha A.5. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/1,1N/10s.

70°C - 20h - 1,1N - 10s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,029%	0,059%	0,114%	0,121%	0,137%	0,144%	0,158%	0,210%	0,232%	0,252%	0,318%	0,433%
II	0,000%	0,031%	0,044%	0,108%	0,142%	0,148%	0,183%	0,174%	0,243%	0,251%	0,275%	0,337%	0,464%
III	0,000%	0,034%	0,051%	0,130%	0,168%	0,177%	0,199%	0,184%	0,252%	0,273%	0,282%	0,345%	0,466%
Soma	0,000%	0,094%	0,155%	0,352%	0,431%	0,462%	0,525%	0,516%	0,705%	0,757%	0,808%	1,000%	1,362%
Média	0,00%	0,03%	0,05%	0,12%	0,14%	0,15%	0,18%	0,17%	0,23%	0,25%	0,27%	0,33%	0,45%
sd	-	0,002%	0,007%	0,011%	0,023%	0,021%	0,028%	0,013%	0,022%	0,020%	0,016%	0,014%	0,019%
CV	-	8,1%	14,8%	9,2%	16,7%	13,9%	15,8%	7,7%	9,7%	8,2%	5,7%	4,1%	4,1%

Gráfico A.5. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/1,1N/10s.

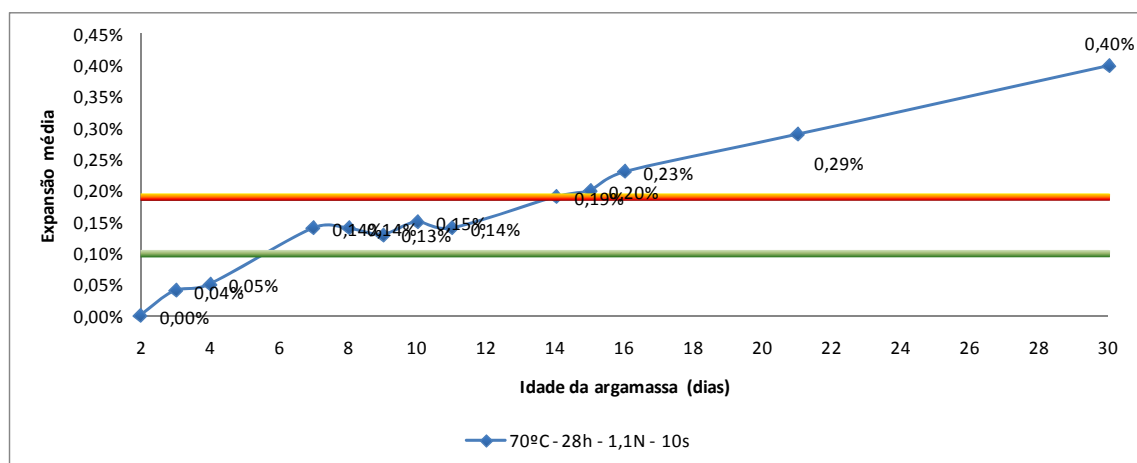
Planilha A.6. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/1,1N/25s.

70°C - 20h - 1,1N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,073%	0,067%	0,144%	0,172%	0,153%	0,171%	0,165%	0,216%	0,221%	0,268%	0,334%	0,461%
II	0,000%	0,087%	0,054%	0,116%	0,145%	0,109%	0,129%	0,148%	0,169%	0,168%	0,216%	0,238%	0,339%
III	0,000%	0,053%	0,048%	0,115%	0,123%	0,118%	0,128%	0,118%	0,143%	0,157%	0,164%	0,224%	0,332%
Soma	0,000%	0,213%	0,169%	0,375%	0,440%	0,379%	0,427%	0,432%	0,528%	0,546%	0,648%	0,796%	1,132%
Média	0,00%	0,07%	0,06%	0,13%	0,15%	0,13%	0,14%	0,14%	0,18%	0,18%	0,22%	0,27%	0,38%
sd	0,000%	0,017%	0,010%	0,016%	0,024%	0,023%	0,025%	0,024%	0,037%	0,034%	0,052%	0,060%	0,072%
CV	-	24,4%	16,2%	12,4%	16,2%	17,9%	17,6%	16,9%	20,6%	19,1%	23,5%	22,2%	19,0%

Gráfico A.6. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/20h/1,1N/25s.

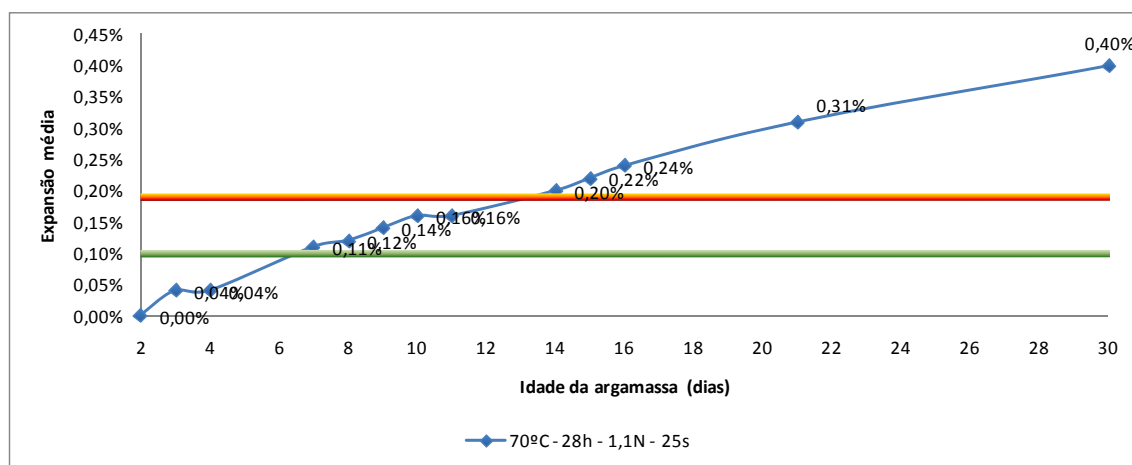
Planilha A.7. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/1,1N/10s.

70°C - 28h - 1,1N - 10s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,071%	0,083%	0,172%	0,177%	0,168%	0,184%	0,187%	0,221%	0,231%	0,268%	0,323%	0,413%
II	0,000%	0,024%	0,031%	0,098%	0,104%	0,103%	0,111%	0,108%	0,155%	0,166%	0,187%	0,258%	0,376%
III	0,000%	0,015%	0,022%	0,157%	0,134%	0,114%	0,150%	0,140%	0,198%	0,188%	0,221%	0,278%	0,410%
Soma	0,000%	0,110%	0,135%	0,427%	0,416%	0,384%	0,445%	0,434%	0,573%	0,585%	0,676%	0,858%	1,199%
Média	0,00%	0,04%	0,05%	0,14%	0,14%	0,13%	0,15%	0,14%	0,19%	0,20%	0,23%	0,29%	0,40%
sd	-	0,030%	0,033%	0,039%	0,036%	0,035%	0,037%	0,040%	0,033%	0,033%	0,041%	0,033%	0,020%
CV	-	75,4%	66,0%	28,1%	26,0%	26,7%	24,5%	28,4%	17,6%	16,5%	17,7%	11,5%	5,1%

Gráfico A.7. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/1,1N/10s.

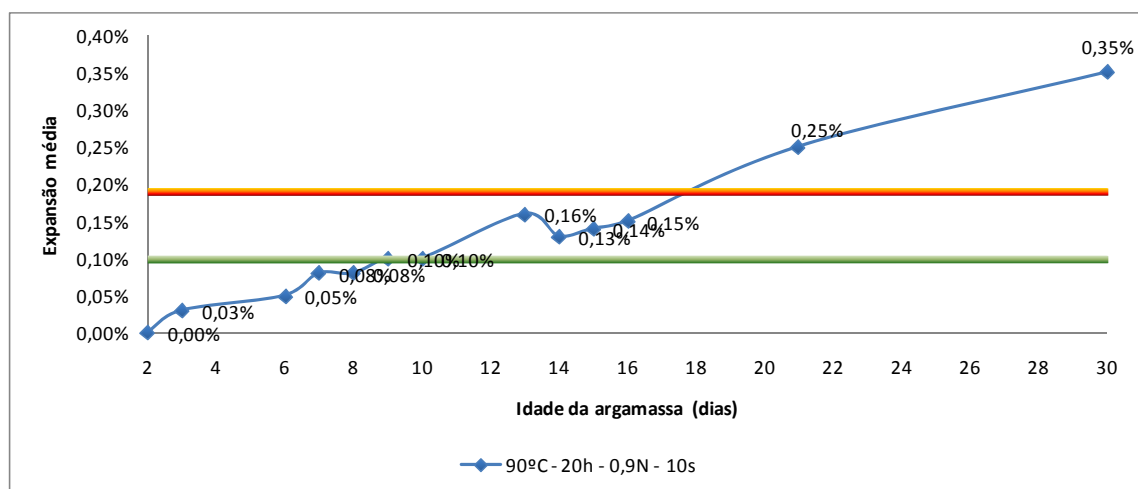
Planilha A.8. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/1,1N/25s.

70°C - 28h - 1,1N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,052%	0,058%	0,120%	0,127%	0,159%	0,173%	0,186%	0,235%	0,253%	0,256%	0,345%	0,429%
II	0,000%	0,026%	0,042%	0,097%	0,122%	0,142%	0,150%	0,149%	0,209%	0,209%	0,236%	0,296%	0,381%
III	0,000%	0,039%	0,020%	0,117%	0,110%	0,130%	0,152%	0,134%	0,168%	0,188%	0,218%	0,286%	0,399%
Soma	0,000%	0,117%	0,121%	0,334%	0,360%	0,431%	0,475%	0,469%	0,612%	0,650%	0,710%	0,928%	1,209%
Média	0,00%	0,04%	0,04%	0,11%	0,12%	0,14%	0,16%	0,16%	0,20%	0,22%	0,24%	0,31%	0,40%
sd	0,000%	0,013%	0,019%	0,012%	0,008%	0,014%	0,013%	0,027%	0,034%	0,033%	0,019%	0,031%	0,024%
CV	-	32%	48%	11%	7%	10%	8%	17%	17%	15%	8%	10%	6%

Gráfico A.8. – Resultados do ensaio para a combinação 70°C/28h/1,1N/25s.

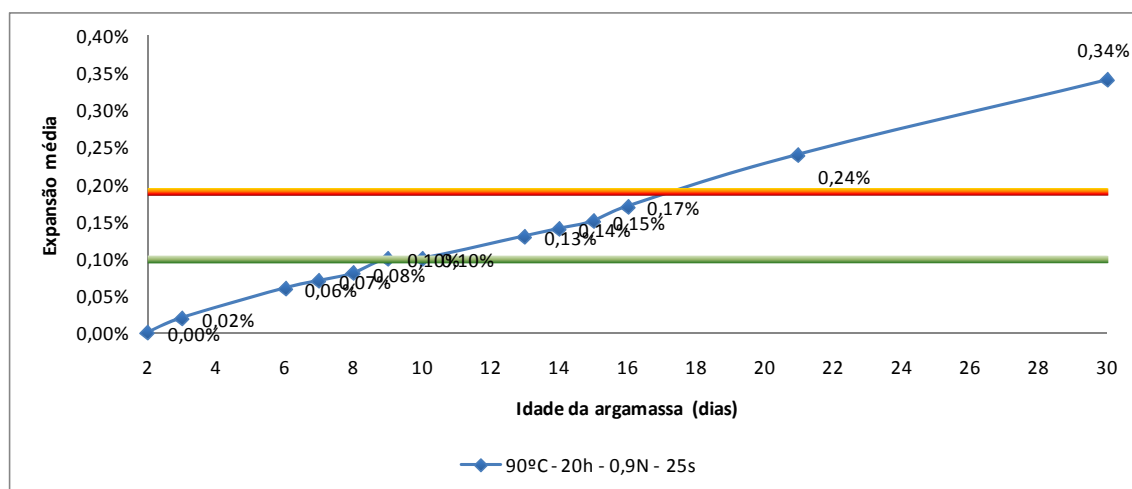
Planilha A.9. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/0,9N/10s.

90°C - 20h - 0,9N - 10s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,027%	0,055%	0,083%	0,065%	0,092%	0,102%	0,149%	0,130%	0,124%	0,139%	0,234%	0,337%
II	0,000%	0,026%	0,051%	0,088%	0,096%	0,118%	0,117%	0,171%	0,148%	0,184%	0,181%	0,272%	0,377%
III	0,000%	0,028%	0,039%	0,058%	0,076%	0,088%	0,078%	0,152%	0,111%	0,126%	0,127%	0,233%	0,328%
Soma	0,000%	0,081%	0,145%	0,228%	0,237%	0,298%	0,297%	0,472%	0,388%	0,434%	0,447%	0,738%	1,042%
Média	0,000%	0,03%	0,05%	0,08%	0,08%	0,10%	0,10%	0,16%	0,13%	0,14%	0,15%	0,25%	0,35%
sd	-	0,001%	0,008%	0,016%	0,016%	0,016%	0,020%	0,012%	0,019%	0,034%	0,028%	0,022%	0,026%
CV	-	4,7%	16,5%	20,1%	19,9%	16,2%	19,6%	7,5%	14,3%	24,0%	19,0%	9,0%	7,4%

Gráfico A.9. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/0,9N/10s.

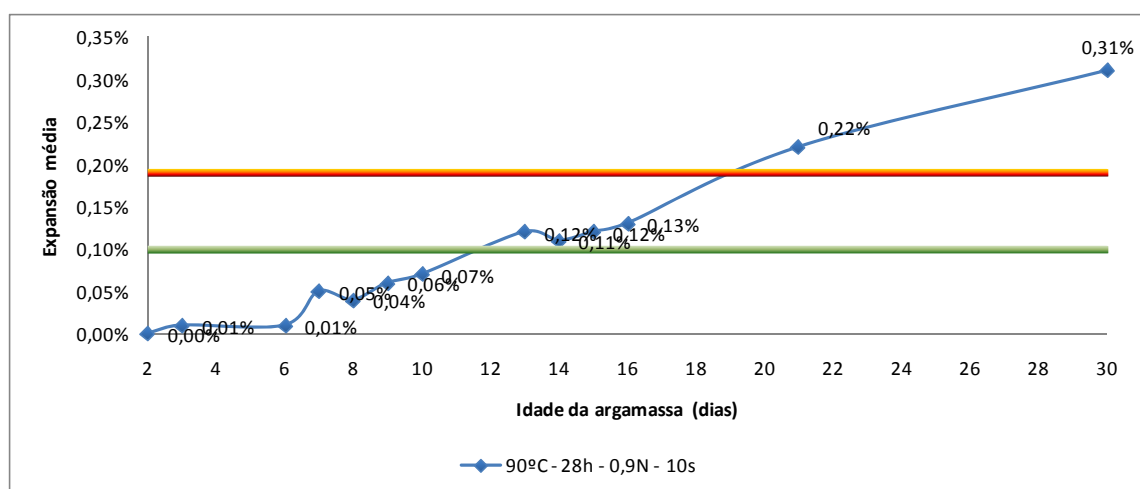
Planilha A.10. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/0,9N/25s.

90°C - 20h - 0,9N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,010%	0,036%	0,045%	0,062%	0,081%	0,076%	0,121%	0,136%	0,138%	0,144%	0,223%	0,312%
II	0,000%	0,020%	0,087%	0,087%	0,092%	0,118%	0,121%	0,136%	0,151%	0,162%	0,198%	0,259%	0,375%
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soma	0,000%	0,030%	0,123%	0,132%	0,154%	0,198%	0,197%	0,257%	0,287%	0,299%	0,342%	0,482%	0,687%
Média	0,00%	0,02%	0,06%	0,07%	0,08%	0,10%	0,10%	0,13%	0,14%	0,15%	0,17%	0,24%	0,34%
sd	0,000%	0,008%	0,036%	0,030%	0,021%	0,026%	0,032%	0,011%	0,010%	0,017%	0,038%	0,025%	0,045%
CV	-	38,2%	60,3%	42,4%	26,2%	26,0%	32,0%	8,5%	7,5%	11,3%	22,6%	10,6%	13,1%

Gráfico A.10. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/0,9N/25s.

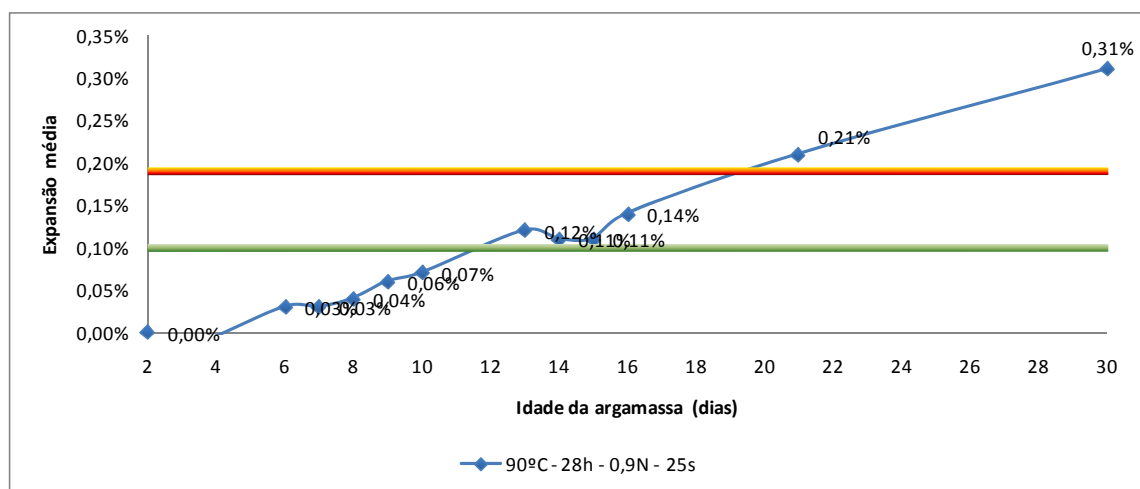
Planilha A.11. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/0,9N/10s.

CP	90°C - 28h - 0,9N - 10s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,044%	0,007%	0,040%	0,014%	0,045%	0,061%	0,099%	0,100%	0,081%	0,108%	0,190%	0,277%
II	0,000%	-0,022%	0,013%	0,045%	0,034%	0,064%	0,081%	0,124%	0,114%	0,126%	0,137%	0,223%	0,314%
III	0,000%	0,002%	0,014%	0,053%	0,064%	0,083%	0,078%	0,126%	0,113%	0,147%	0,152%	0,246%	0,332%
Soma	0,000%	0,025%	0,034%	0,138%	0,111%	0,193%	0,220%	0,348%	0,327%	0,354%	0,396%	0,659%	0,923%
Média	0,00%	0,01%	0,01%	0,05%	0,04%	0,06%	0,07%	0,12%	0,11%	0,12%	0,13%	0,22%	0,31%
sd	-	0,034%	0,004%	0,006%	0,025%	0,019%	0,011%	0,015%	0,008%	0,034%	0,022%	0,028%	0,028%
CV	-	335,9%	35,9%	12,5%	62,5%	31,7%	15,6%	12,2%	7,1%	28,0%	17,1%	12,9%	9,0%

Gráfico A.11. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/0,9N/10s.

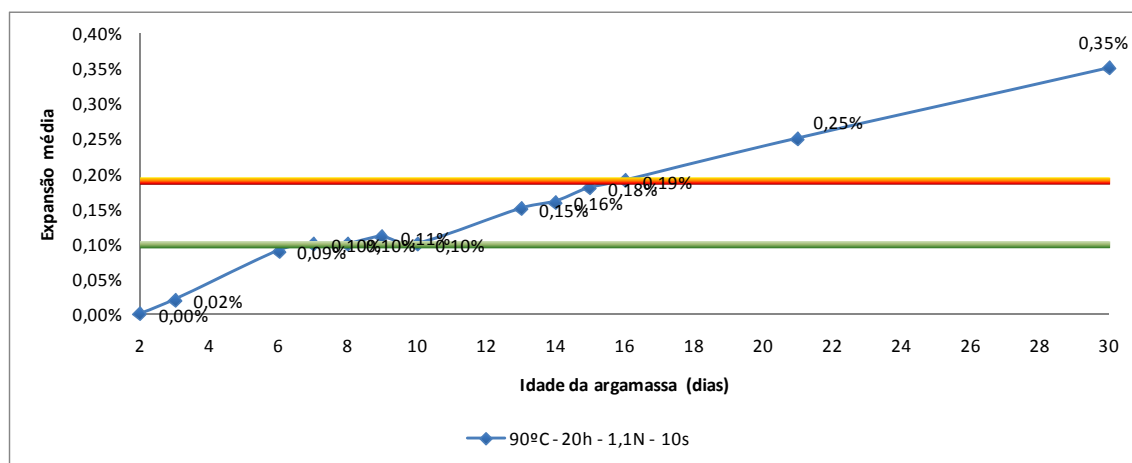
Planilha A.12. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/0,9N/25s.

90°C - 28h - 0,9N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	-0,021%	0,009%	0,029%	0,048%	0,075%	0,084%	0,149%	0,146%	0,166%	0,183%	0,257%	0,362%
II	0,000%	-0,009%	0,032%	0,028%	0,042%	0,057%	0,058%	0,105%	0,114%	0,087%	0,118%	0,194%	0,291%
III	0,000%	-0,020%	0,036%	0,035%	0,036%	0,052%	0,060%	0,092%	0,085%	0,077%	0,109%	0,172%	0,274%
Soma	0,000%	-0,050%	0,077%	0,093%	0,125%	0,184%	0,202%	0,345%	0,345%	0,330%	0,410%	0,623%	0,928%
Média	0,00%	-0,02%	0,03%	0,03%	0,04%	0,06%	0,07%	0,12%	0,11%	0,11%	0,14%	0,21%	0,31%
sd	0,000%	0,007%	0,015%	0,004%	0,006%	0,012%	0,015%	0,030%	0,031%	0,049%	0,040%	0,044%	0,047%
CV	-	-35%	49%	12%	15%	20%	21%	25%	28%	44%	29%	21%	15%

Gráfico A.12– Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/0,9N/25s.

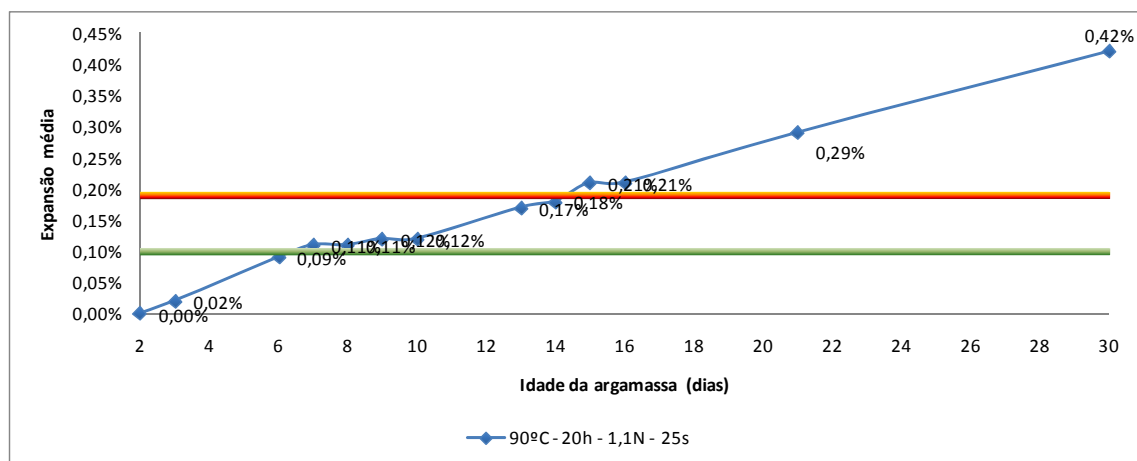
Planilha A.13. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/1,1N/10s.

CP	90°C - 20h - 1,1N - 10s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,026%	0,098%	0,100%	0,106%	0,120%	0,120%	0,164%	0,179%	0,206%	0,209%	0,269%	0,377%
II	0,000%	0,024%	0,081%	0,088%	0,090%	0,090%	0,089%	0,139%	0,132%	0,169%	0,168%	0,225%	0,324%
III	0,000%	0,016%	0,090%	0,106%	0,105%	0,122%	0,100%	0,150%	0,162%	0,176%	0,191%	0,253%	0,355%
Soma	0,000%	0,066%	0,270%	0,295%	0,300%	0,332%	0,309%	0,452%	0,474%	0,551%	0,567%	0,747%	1,056%
Média	0,00%	0,02%	0,09%	0,10%	0,10%	0,11%	0,10%	0,15%	0,16%	0,18%	0,19%	0,25%	0,35%
sd	-	0,005%	0,008%	0,009%	0,009%	0,018%	0,016%	0,012%	0,024%	0,020%	0,021%	0,022%	0,026%
CV	-	24,6%	9,3%	9,1%	8,8%	16,1%	15,8%	8,2%	14,8%	10,9%	10,9%	8,8%	7,5%

Gráfico A.13. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/1,1N/10s.

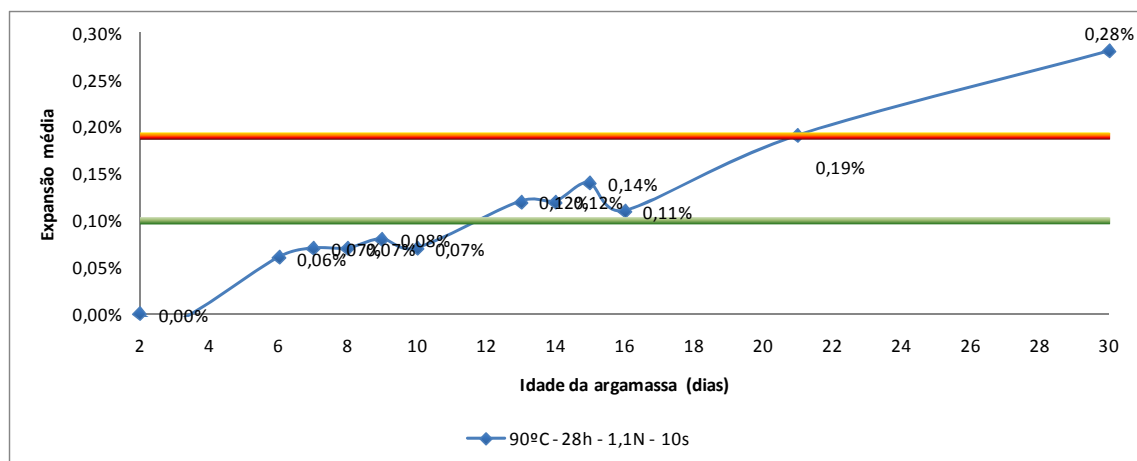
Planilha A.14. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/1,1N/25s.

90°C - 20h - 1,1N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,030%	0,085%	0,113%	0,124%	0,134%	0,147%	0,197%	0,203%	0,227%	0,243%	0,304%	0,427%
II	0,000%	0,028%	0,090%	0,120%	0,115%	0,130%	0,128%	0,179%	0,193%	0,222%	0,221%	0,309%	0,444%
III	0,000%	0,016%	0,083%	0,098%	0,095%	0,105%	0,092%	0,139%	0,153%	0,179%	0,180%	0,245%	0,384%
Soma	0,000%	0,075%	0,257%	0,332%	0,334%	0,368%	0,366%	0,515%	0,549%	0,628%	0,644%	0,858%	1,256%
Média	0,00%	0,02%	0,09%	0,11%	0,11%	0,12%	0,12%	0,17%	0,18%	0,21%	0,21%	0,29%	0,42%
sd	0,000%	0,007%	0,003%	0,011%	0,015%	0,015%	0,028%	0,030%	0,027%	0,026%	0,032%	0,036%	0,031%
CV	-	37,4%	3,9%	10,2%	13,7%	12,8%	23,4%	17,4%	14,8%	12,5%	15,2%	12,3%	7,3%

Gráfico A.14. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/20h/1,1N/25s.

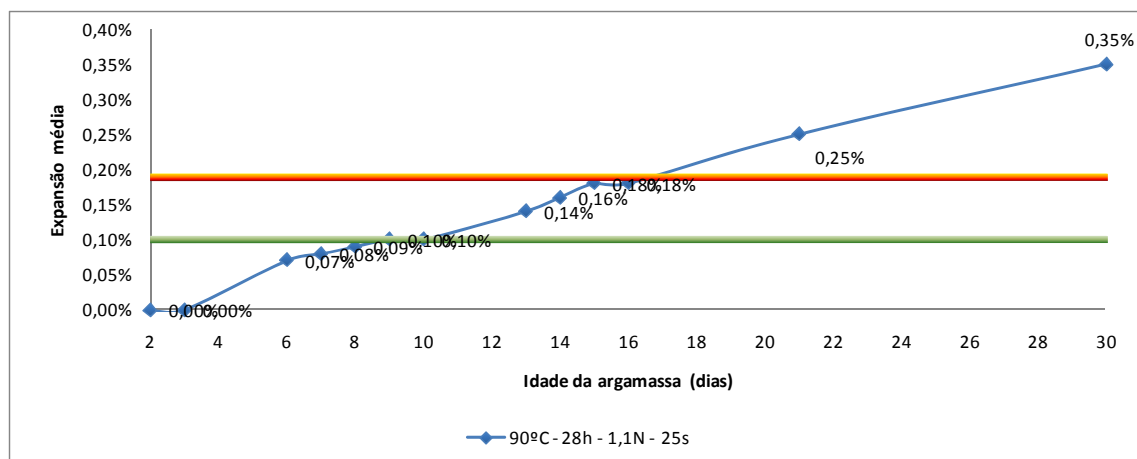
Planilha A.15. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/1,1N/10s.

CP	90°C - 28h - 1,1N - 10s												
	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	-0,002%	0,054%	0,067%	0,066%	0,072%	0,068%	0,117%	0,122%	0,143%	0,129%	0,198%	0,296%
II	0,000%	-0,006%	0,068%	0,084%	0,065%	0,103%	0,088%	0,140%	0,132%	0,170%	0,124%	0,218%	0,308%
III	0,000%	-0,009%	0,054%	0,072%	0,066%	0,080%	0,068%	0,104%	0,111%	0,108%	0,088%	0,157%	0,250%
Soma	0,000%	-0,018%	0,176%	0,223%	0,196%	0,254%	0,224%	0,361%	0,366%	0,422%	0,341%	0,574%	0,853%
Média	0,00%	-0,01%	0,06%	0,07%	0,07%	0,08%	0,07%	0,12%	0,12%	0,14%	0,11%	0,19%	0,28%
sd	-	0,003%	0,008%	0,008%	0,001%	0,016%	0,011%	0,018%	0,011%	0,031%	0,022%	0,031%	0,031%
CV	-	-34,2%	13,5%	12,0%	0,9%	20,3%	16,3%	15,4%	9,0%	22,3%	20,4%	16,4%	11,0%

Gráfico A.15. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/1,1N/10s.

Planilha A.16. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/1,1N/25s.

90°C - 28h - 1,1N - 25s													
CP	Expansão a idade (dias) de												
	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	21	30
I	0,000%	0,010%	0,076%	0,096%	0,086%	0,108%	0,108%	0,143%	0,159%	0,172%	0,172%	0,239%	0,345%
II	0,000%	-0,004%	0,062%	0,082%	0,074%	0,089%	0,098%	0,135%	0,153%	0,179%	0,165%	0,253%	0,356%
III	0,000%	0,002%	0,068%	0,077%	0,094%	0,112%	0,105%	0,152%	0,180%	0,190%	0,189%	0,265%	0,352%
Soma	0,000%	0,008%	0,206%	0,255%	0,255%	0,309%	0,310%	0,430%	0,492%	0,541%	0,526%	0,758%	1,053%
Média	0,00%	0,00%	0,07%	0,08%	0,09%	0,10%	0,10%	0,14%	0,16%	0,18%	0,18%	0,25%	0,35%
sd	0,000%	0,007%	0,007%	0,010%	0,010%	0,012%	0,005%	0,008%	0,014%	0,009%	0,012%	0,013%	0,005%
CV	-	0%	10%	12%	11%	12%	5%	6%	9%	5%	7%	5%	2%

Gráfico A.16. – Resultados do ensaio para a combinação 90°C/28h/1,1N/25s.

APÊNDICE B – ALGORITMOS DE YATES E ANÁLISES DAS VARIÂNCIAS

Planilha B.1- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 3 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,048%	0,040%	0,044%	0,039%	0,026%	0,075%	0,029%	0,031%	0,034%	0,073%	0,087%	0,053%
	B2 (T=28h)	0,030%	0,012%	0,008%	0,001%	0,020%	0,040%	0,071%	-	0,015%	0,052%	0,026%	0,039%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,027%	0,026%	0,028%	0,010%	0,020%	-	0,026%	0,024%	0,016%	0,030%	0,028%	0,016%
	B2 (T=28h)	0,044%	-0,022%	0,002%	-0,021%	-0,009%	-0,020%	-0,002%	-0,006%	-0,009%	0,010%	-0,004%	0,002%
												SOMA	1,109%
												SQUAD	5,54782E-06
												SQT	2,93011E-06
												SQR	8,39384E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (3 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,133%	0,214%	0,288%	0,516%	1,109%	-	-	-	-	-	-	-	
a	0,081%	0,075%	0,228%	0,593%	0,677%	0,028%	9,55416E-07	1	9,55416E-07	18,21175	4,493998	SIM	
b	0,050%	0,160%	0,180%	0,209%	0,553%	0,023%	6,37563E-07	1	6,37563E-07	12,15296	4,493998	SIM	
ab	0,025%	0,068%	0,413%	0,468%	-0,021%	-0,001%	9,36333E-10	1	9,36333E-10	0,017848	4,493998	NÃO	
c	0,094%	0,170%	0,077%	0,231%	-0,173%	-0,007%	6,24963E-08	1	6,24963E-08	1,191279	4,493998	NÃO	
ac	0,066%	0,010%	0,132%	0,322%	-0,082%	-0,003%	1,40083E-08	1	1,40083E-08	0,267021	4,493998	NÃO	
bc	0,086%	0,288%	0,220%	-0,049%	0,044%	0,002%	3,96033E-09	1	3,96033E-09	0,07549	4,493998	NÃO	
abc	-0,018%	0,125%	0,248%	0,028%	0,072%	0,003%	1,09203E-08	1	1,09203E-08	0,208159	4,493998	NÃO	
d	0,140%	0,052%	0,139%	0,060%	-0,076%	-0,003%	1,21603E-08	1	1,21603E-08	0,231795	4,493998	NÃO	
ad	0,030%	0,025%	0,092%	-0,234%	-0,259%	-0,011%	1,39536E-07	1	1,39536E-07	2,659784	4,493998	NÃO	
bd	0,060%	0,028%	0,160%	-0,055%	-0,092%	-0,004%	1,74803E-08	1	1,74803E-08	0,333203	4,493998	NÃO	
abd	-0,050%	0,104%	0,163%	-0,027%	-0,077%	-0,003%	1,24163E-08	1	1,24163E-08	0,236675	4,493998	NÃO	
cd	0,213%	0,110%	0,027%	0,047%	0,294%	0,012%	1,80075E-07	1	1,80075E-07	3,432516	4,493998	NÃO	
acd	0,075%	0,111%	-0,076%	-0,003%	-0,028%	-0,001%	1,587E-09	1	1,587E-09	0,030251	4,493998	NÃO	
bcd	0,117%	0,138%	-0,001%	0,103%	0,050%	0,002%	5,20833E-09	1	5,20833E-09	0,099279	4,493998	NÃO	
abcd	0,008%	0,109%	0,029%	-0,030%	0,133%	0,006%	3,6963E-08	1	3,6963E-08	0,704574	4,493998	NÃO	
						Resíduos	8,39384E-07	16	5,24615E-08				

Planilha B.2- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 7 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,102%	0,089%	0,090%	0,089%	0,121%	0,091%	0,114%	0,108%	0,130%	0,144%	0,116%	0,115%
	B2 (T=28h)	0,082%	0,066%	0,058%	0,065%	0,113%	0,074%	0,172%	0,085%	0,157%	0,120%	0,097%	0,117%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,083%	0,088%	0,058%	0,045%	0,087%	-	0,100%	0,088%	0,106%	0,113%	0,120%	0,098%
	B2 (T=28h)	0,040%	0,045%	0,053%	0,029%	0,028%	0,035%	0,067%	0,084%	0,072%	0,096%	0,082%	0,077%
												SOMA	4,210%
												SQUAD	4,23448E-05
												SQT	4,63393E-06
												SQR	5,09269E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (7 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,281%	0,509%	0,852%	2,136%	4,210%	-	-	-	-	-	-	-	
a	0,228%	0,344%	1,284%	2,074%	0,817%	0,034%	1,39128E-06	1	1,39128E-06	19,71072	4,493998	SIM	
b	0,205%	0,647%	0,778%	0,368%	0,383%	0,016%	3,05283E-07	1	3,05283E-07	9,591248	4,493998	SIM	
ab	0,138%	0,637%	1,296%	0,450%	-0,173%	-0,007%	6,24963E-08	1	6,24963E-08	1,963483	4,493998	NÃO	
c	0,352%	0,434%	0,120%	0,175%	-0,949%	-0,040%	1,87704E-06	1	1,87704E-06	58,97212	4,493998	SIM	
ac	0,295%	0,344%	0,248%	0,208%	0,077%	0,003%	1,24163E-08	1	1,24163E-08	0,390091	4,493998	NÃO	
bc	0,414%	0,707%	0,328%	-0,148%	0,126%	0,005%	3,3075E-08	1	3,3075E-08	1,039136	4,493998	NÃO	
abc	0,223%	0,588%	0,122%	-0,026%	0,165%	0,007%	5,68563E-08	1	5,68563E-08	1,786288	4,493998	NÃO	
d	0,301%	0,053%	0,165%	-0,432%	0,063%	0,003%	8,21633E-09	1	8,21633E-09	0,258137	4,493998	NÃO	
ad	0,132%	0,067%	0,010%	-0,518%	-0,082%	-0,003%	1,40083E-08	1	1,40083E-08	0,440108	4,493998	NÃO	
bd	0,252%	0,057%	0,089%	-0,128%	-0,033%	-0,001%	2,29633E-09	1	2,29633E-09	0,072145	4,493998	NÃO	
abd	0,093%	0,191%	0,119%	0,206%	-0,122%	-0,005%	3,10083E-08	1	3,10083E-08	0,974206	4,493998	NÃO	
cd	0,375%	0,169%	-0,014%	0,156%	0,086%	0,004%	1,54083E-08	1	1,54083E-08	0,484092	4,493998	NÃO	
acd	0,332%	0,159%	-0,134%	-0,030%	-0,334%	-0,014%	2,32408E-07	1	2,32408E-07	7,301704	4,493998	SIM	
bcd	0,334%	0,043%	0,010%	0,120%	0,185%	0,008%	7,14563E-08	1	7,14563E-08	2,244984	4,493998	NÃO	
abcd	0,255%	0,079%	-0,036%	0,046%	0,074%	0,003%	1,14083E-08	1	1,14083E-08	0,358422	4,493998	NÃO	
						Resíduos	5,09269E-07	16	3,18293E-08				

Planilha B.3- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 8 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,142%	0,119%	0,114%	0,106%	0,106%	0,096%	0,121%	0,142%	0,168%	0,172%	0,145%	0,123%
	B2 (T=28h)	0,122%	0,089%	0,076%	0,072%	0,112%	0,108%	0,177%	0,113%	0,134%	0,127%	0,122%	0,110%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,065%	0,096%	0,076%	0,062%	0,092%	-	0,106%	0,090%	0,105%	0,124%	0,115%	0,095%
	B2 (T=28h)	0,014%	0,034%	0,064%	0,048%	0,042%	0,036%	0,066%	0,065%	0,066%	0,086%	0,074%	0,094%
												SOMA	4,631%
												SQUAD	5,15985E-05
												SQT	5,97236E-06
												SQR	4,57209E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (8 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,375%	0,612%	1,010%	2,362%	4,631%	-	-	-	-	-	-	-	
a	0,237%	0,398%	1,352%	2,268%	1,205%	0,050%	3,02606E-06	1	3,02606E-06	105,8966	4,493998	SIM	
b	0,287%	0,731%	0,880%	0,672%	0,528%	0,022%	5,8168E-07	1	5,8168E-07	20,35586	4,493998	SIM	
ab	0,111%	0,621%	1,389%	0,533%	-0,147%	-0,006%	4,48963E-08	1	4,48963E-08	1,571144	4,493998	NÃO	
c	0,431%	0,462%	0,314%	0,324%	-0,851%	-0,035%	1,50804E-06	1	1,50804E-06	52,77386	4,493998	SIM	
ac	0,300%	0,417%	0,358%	0,204%	0,068%	0,003%	9,52033E-09	1	9,52033E-09	0,333163	4,493998	NÃO	
bc	0,424%	0,774%	0,323%	-0,136%	-0,011%	0,000%	2,43E-10	1	2,43E-10	0,008504	4,493998	NÃO	
abc	0,196%	0,615%	0,210%	-0,011%	0,045%	0,002%	4,25633E-09	1	4,25633E-09	0,14895	4,493998	NÃO	
d	0,309%	0,138%	0,214%	-0,342%	0,094%	0,004%	1,84083E-08	1	1,84083E-08	0,644198	4,493998	NÃO	
ad	0,154%	0,176%	0,110%	-0,509%	0,139%	0,006%	4,01363E-08	1	4,01363E-08	1,404568	4,493998	NÃO	
bd	0,292%	0,130%	0,045%	-0,045%	0,120%	0,005%	2,98003E-08	1	2,98003E-08	1,042861	4,493998	NÃO	
abd	0,125%	0,228%	0,159%	0,112%	-0,125%	-0,005%	3,26563E-08	1	3,26563E-08	1,142806	4,493998	NÃO	
cd	0,440%	0,155%	-0,038%	0,103%	0,168%	0,007%	5,85203E-08	1	5,85203E-08	2,047915	4,493998	NÃO	
acd	0,334%	0,168%	-0,098%	-0,114%	-0,157%	-0,007%	5,1483E-08	1	5,1483E-08	1,801644	4,493998	NÃO	
bcd	0,360%	0,106%	-0,012%	0,059%	0,217%	0,009%	9,8283E-08	1	9,8283E-08	3,439407	4,493998	NÃO	
abcd	0,255%	0,104%	0,002%	-0,014%	0,073%	0,003%	1,1163E-08	1	1,1163E-08	0,390648	4,493998	NÃO	
Resíduos						4,57209E-07	16	2,85756E-08					

Planilha B.4- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 9 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,118%	0,105%	0,098%	0,114%	0,184%	0,094%	0,137%	0,148%	0,177%	0,153%	0,109%	0,118%
	B2 (T=28h)	0,112%	0,118%	0,122%	0,101%	0,114%	0,110%	0,168%	0,124%	0,114%	0,159%	0,142%	0,130%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,092%	0,118%	0,088%	0,081%	0,118%	-	0,120%	0,090%	0,122%	0,134%	0,130%	0,105%
	B2 (T=28h)	0,045%	0,064%	0,083%	0,075%	0,057%	0,052%	0,072%	0,103%	0,080%	0,108%	0,089%	0,112%
												SOMA	5,203%
												SQUAD	6,1881E-05
												SQT	4,28709E-06
												SQR	7,5953E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (9 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,320%	0,618%	1,162%	2,616%	5,203%	-	-	-	-	-	-	-	
a	0,298%	0,544%	1,454%	2,587%	0,928%	0,039%	1,79568E-06	1	1,79568E-06	37,82719	4,493998	SIM	
b	0,351%	0,794%	1,099%	0,462%	0,298%	0,012%	1,85008E-07	1	1,85008E-07	3,897323	4,493998	NÃO	
ab	0,193%	0,660%	1,488%	0,467%	-0,216%	-0,009%	9,75603E-08	1	9,75603E-08	2,055173	4,493998	NÃO	
c	0,462%	0,590%	0,181%	0,209%	-0,680%	-0,028%	9,622E-07	1	9,622E-07	20,26938	4,493998	SIM	
ac	0,332%	0,509%	0,281%	0,089%	0,102%	0,004%	2,1675E-08	1	2,1675E-08	0,456598	4,493998	NÃO	
bc	0,406%	0,748%	0,334%	-0,158%	0,014%	0,001%	4,08333E-10	1	4,08333E-10	0,008602	4,493998	NÃO	
abc	0,254%	0,740%	0,132%	-0,058%	0,050%	0,002%	5,20833E-09	1	5,20833E-09	0,109717	4,493998	NÃO	
d	0,392%	0,022%	0,074%	-0,291%	0,029%	0,001%	1,77633E-09	1	1,77633E-09	0,03742	4,493998	NÃO	
ad	0,198%	0,158%	0,134%	-0,388%	-0,005%	0,000%	5,63333E-11	1	5,63333E-11	0,001187	4,493998	NÃO	
bd	0,325%	0,129%	0,082%	-0,100%	0,120%	0,005%	2,98003E-08	1	2,98003E-08	0,627764	4,493998	NÃO	
abd	0,184%	0,152%	0,008%	0,202%	-0,100%	-0,004%	2,10003E-08	1	2,10003E-08	0,442386	4,493998	NÃO	
cd	0,379%	0,194%	-0,136%	-0,060%	0,097%	0,004%	1,9683E-08	1	1,9683E-08	0,414635	4,493998	NÃO	
acd	0,368%	0,141%	-0,022%	0,074%	-0,302%	-0,013%	1,90008E-07	1	1,90008E-07	4,002651	4,493998	NÃO	
bcd	0,431%	0,011%	0,053%	-0,114%	-0,134%	-0,006%	3,74083E-08	1	3,74083E-08	0,788031	4,493998	NÃO	
abcd	0,309%	0,122%	-0,111%	0,164%	-0,277%	-0,012%	1,60083E-07	1	1,60083E-07	3,372254	4,493998	NÃO	
Resíduos						7,5953E-07	16	4,74706E-08					

Planilha B.5- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 10 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,160%	0,130%	0,122%	0,121%	0,202%	0,109%	0,144%	0,183%	0,199%	0,171%	0,129%	0,128%
	B2 (T=28h)	0,138%	0,142%	0,143%	0,126%	0,141%	0,132%	0,184%	0,134%	0,150%	0,173%	0,150%	0,152%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,102%	0,117%	0,078%	0,076%	0,121%	-	0,120%	0,089%	0,100%	0,147%	0,128%	0,092%
	B2 (T=28h)	0,061%	0,081%	0,078%	0,084%	0,058%	0,060%	0,068%	0,088%	0,068%	0,108%	0,098%	0,105%
SOMA													5,686%
SQUAD													7,51491E-05
SQT													6,36063E-06
SQR													7,49946E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (10 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,412%	0,709%	1,351%	2,878%	5,686%	-	-	-	-	-	-	-	-
a	0,297%	0,642%	1,526%	2,808%	1,436%	0,060%	4,29364E-06	1	4,29364E-06	91,60423	4,493998	SIM	
b	0,422%	0,834%	1,230%	0,778%	0,245%	0,010%	1,25256E-07	1	1,25256E-07	2,672327	4,493998	NÃO	
ab	0,220%	0,692%	1,578%	0,658%	-0,181%	-0,008%	6,8403E-08	1	6,8403E-08	1,459369	4,493998	NÃO	
c	0,525%	0,629%	0,318%	0,210%	-0,524%	-0,022%	5,7116E-07	1	5,7116E-07	92,18569	4,493998	SIM	
ac	0,309%	0,601%	0,459%	0,036%	0,066%	0,003%	9,075E-09	1	9,075E-09	0,193614	4,493998	NÃO	
bc	0,468%	0,793%	0,432%	-0,114%	-0,056%	-0,002%	6,4403E-09	1	6,4403E-09	0,137404	4,493998	NÃO	
abc	0,224%	0,785%	0,226%	-0,067%	0,080%	0,003%	1,32003E-08	1	1,32003E-08	0,281627	4,493998	NÃO	
d	0,432%	0,116%	0,067%	-0,175%	0,069%	0,003%	9,9763E-09	1	9,9763E-09	0,212844	4,493998	NÃO	
ad	0,197%	0,203%	0,142%	-0,348%	0,120%	0,005%	2,98003E-08	1	2,98003E-08	0,635786	4,493998	NÃO	
bd	0,400%	0,216%	0,028%	-0,141%	0,174%	0,007%	6,3075E-08	1	6,3075E-08	1,345697	4,493998	NÃO	
abd	0,202%	0,243%	0,008%	0,207%	-0,048%	-0,002%	4,72033E-09	1	4,72033E-09	0,100708	4,493998	NÃO	
cd	0,427%	0,234%	-0,087%	-0,075%	0,173%	0,007%	6,24963E-08	1	6,24963E-08	1,333351	4,493998	NÃO	
acd	0,366%	0,198%	-0,027%	0,020%	-0,348%	-0,014%	2,5172E-07	1	2,5172E-07	5,370419	4,493998	SIM	
bcd	0,475%	0,061%	0,036%	-0,060%	-0,095%	-0,004%	1,8723E-08	1	1,8723E-08	0,399453	4,493998	NÃO	
abcd	0,310%	0,164%	-0,103%	0,140%	-0,200%	-0,008%	8,30003E-08	1	8,30003E-08	1,770801	4,493998	NÃO	
Resíduos							7,49946E-07	16	4,68716E-08				

Planilha B.6- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 14 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,217%	0,176%	0,160%	0,176%	0,232%	0,143%	0,210%	0,243%	0,252%	0,216%	0,169%	0,143%
	B2 (T=28h)	0,188%	0,186%	0,202%	0,172%	0,190%	0,181%	0,221%	0,197%	0,198%	0,235%	0,209%	0,168%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,130%	0,148%	0,111%	0,136%	0,151%	-	0,179%	0,132%	0,162%	0,203%	0,193%	0,153%
	B2 (T=28h)	0,100%	0,114%	0,113%	0,146%	0,114%	0,085%	0,122%	0,132%	0,111%	0,159%	0,153%	0,180%
SOMA													7,911%
SQUAD													0,000140739
SQT													7,58813E-06
SQR													4,47556E-07
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (14 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,554%	0,942%	1,845%	4,004%	7,911%	-	-	-	-	-	-	-	-
a	0,388%	0,903%	2,159%	3,906%	1,456%	0,061%	4,41411E-06	1	4,41411E-06	157,8032	4,493998	SIM	
b	0,576%	1,178%	1,725%	0,895%	0,159%	0,007%	5,25363E-08	1	5,25363E-08	1,878161	4,493998	NÃO	
ab	0,327%	0,981%	2,182%	0,561%	-0,176%	-0,007%	6,4827E-08	1	6,4827E-08	2,317549	4,493998	NÃO	
c	0,705%	0,838%	0,414%	0,236%	-0,771%	-0,032%	1,23778E-06	1	1,23778E-06	44,25019	4,493998	SIM	
ac	0,474%	0,887%	0,481%	-0,078%	0,296%	0,012%	1,8204E-07	1	1,8204E-07	6,507896	4,493998	SIM	
bc	0,615%	1,077%	0,462%	-0,102%	-0,180%	-0,008%	6,78003E-08	1	6,78003E-08	2,423845	4,493998	NÃO	
abc	0,366%	1,105%	0,099%	-0,074%	0,142%	0,006%	4,20083E-08	1	4,20083E-08	1,501787	4,493998	NÃO	
d	0,551%	0,165%	0,039%	-0,314%	0,098%	0,004%	2,00083E-08	1	2,00083E-08	0,715293	4,493998	NÃO	
ad	0,287%	0,249%	0,198%	-0,457%	0,334%	0,014%	2,32408E-07	1	2,32408E-07	8,308539	4,493998	SIM	
bd	0,542%	0,231%	-0,050%	-0,067%	0,314%	0,013%	2,05408E-07	1	2,05408E-07	7,343296	4,493998	SIM	
abd	0,345%	0,250%	-0,028%	0,362%	-0,028%	-0,001%	1,587E-09	1	1,587E-09	0,056735	4,493998	NÃO	
cd	0,528%	0,264%	-0,084%	-0,159%	0,143%	0,006%	4,2483E-08	1	4,2483E-08	1,518756	4,493998	NÃO	
acd	0,549%	0,198%	-0,018%	-0,022%	-0,429%	-0,018%	3,83776E-07	1	3,83776E-07	13,71991	4,493998	SIM	
bcd	0,612%	-0,021%	0,066%	-0,065%	-0,137%	-0,006%	3,92163E-08	1	3,92163E-08	1,401974	4,493998	NÃO	
abcd	0,492%	0,120%	-0,141%	0,207%	-0,272%	-0,011%	1,54587E-07	1	1,54587E-07	5,526446	4,493998	SIM	
Resíduos							4,47556E-07	16	2,79722E-08				

Planilha B.7- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 15 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,231%	0,166%	0,146%	0,172%	0,245%	0,128%	0,232%	0,251%	0,273%	0,221%	0,168%	0,157%
	B2 (T=28h)	0,205%	0,209%	0,210%	0,176%	0,166%	0,184%	0,231%	0,203%	0,188%	0,253%	0,209%	0,188%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,124%	0,184%	0,126%	0,138%	0,162%	-	0,206%	0,169%	0,176%	0,227%	0,222%	0,179%
	B2 (T=28h)	0,081%	0,126%	0,147%	0,166%	0,087%	0,077%	0,143%	0,170%	0,108%	0,172%	0,179%	0,190%
SOMA													8,372%
SQUAD													0,000158582
SQT													9,45328E-06
SQR													1,51651E-06
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (15 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,543%	0,977%	1,955%	4,306%	8,372%	-	-	-	-	-	-	-	-
a	0,434%	0,978%	2,352%	4,066%	1,253%	0,052%	3,26981E-06	1	3,26981E-06	34,49833	4,493998	SIM	
b	0,623%	1,308%	1,700%	0,783%	0,236%	0,010%	1,16033E-07	1	1,16033E-07	1,224218	4,493998	NÃO	
ab	0,354%	1,044%	2,365%	0,470%	-0,296%	-0,012%	1,82533E-07	1	1,82533E-07	1,92583	4,493998	NÃO	
c	0,757%	0,844%	0,377%	0,264%	-1,062%	-0,044%	2,34791E-06	1	2,34791E-06	24,77173	4,493998	SIM	
ac	0,551%	0,856%	0,406%	-0,028%	0,386%	0,016%	3,09765E-07	1	3,09765E-07	3,2682	4,493998	NÃO	
bc	0,622%	1,174%	0,442%	-0,155%	-0,260%	-0,011%	1,40833E-07	1	1,40833E-07	1,485872	4,493998	NÃO	
abc	0,422%	1,191%	0,028%	-0,141%	0,075%	0,003%	1,17813E-08	1	1,17813E-08	0,1243	4,493998	NÃO	
d	0,545%	0,108%	0,000%	-0,397%	0,241%	0,010%	1,20801E-07	1	1,20801E-07	1,274523	4,493998	NÃO	
ad	0,299%	0,269%	0,264%	-0,665%	0,314%	0,013%	2,04885E-07	1	2,04885E-07	2,161657	4,493998	NÃO	
bd	0,526%	0,206%	-0,012%	-0,029%	0,292%	0,012%	1,77633E-07	1	1,77633E-07	1,874133	4,493998	NÃO	
abd	0,330%	0,200%	-0,016%	0,414%	-0,014%	-0,001%	4,32E-10	1	4,32E-10	0,004558	4,493998	NÃO	
cd	0,546%	0,246%	-0,160%	-0,265%	0,268%	0,011%	1,49633E-07	1	1,49633E-07	1,578717	4,493998	NÃO	
acd	0,628%	0,196%	0,005%	0,005%	-0,443%	-0,018%	4,09221E-07	1	4,09221E-07	4,317517	4,493998	NÃO	
bcd	0,650%	-0,082%	0,050%	-0,166%	-0,270%	-0,011%	1,51425E-07	1	1,51425E-07	1,597623	4,493998	NÃO	
abcd	0,541%	0,109%	-0,191%	0,241%	-0,406%	-0,017%	3,44085E-07	1	3,44085E-07	3,630296	4,493998	NÃO	
Resíduos							1,51651E-06	16	9,47816E-08				

Planilha B.8- Algoritmo de Yates e análise da variância para expansões aos 16 dias de idade

Avaliação de expansão de barras de argamassa pelo método acelerado		C1 (C=0,9N)						C2 (C=1,1N)					
		D1 (t=10s)			D2 (t=25s)			D1 (t=10s)			D2 (t=25s)		
A1 (Tc = 70°C)	B1 (T=20h)	0,230%	0,178%	0,142%	0,152%	0,311%	0,124%	0,252%	0,275%	0,282%	0,268%	0,216%	0,164%
	B2 (T=28h)	0,224%	0,234%	0,231%	0,194%	0,174%	0,206%	0,268%	0,227%	0,221%	0,256%	0,236%	0,218%
A2 (Tc = 90°C)	B1 (T=20h)	0,139%	0,181%	0,127%	0,144%	0,198%	-	0,209%	0,168%	0,191%	0,243%	0,221%	0,180%
	B2 (T=28h)	0,108%	0,137%	0,152%	0,183%	0,118%	0,109%	0,129%	0,124%	0,088%	0,172%	0,165%	0,189%
SOMA													8,956%
SQUAD													0,000183451
SQT													1,28064E-05
SQR													2,82534E-06
Algoritmo de Yates e Análise da Variância (16 dias)													
Trat.	Resposta	(1)	(2)	(3)	Contr.	Efeitos	SQ	GDL	MQ	Teste F	Ftab	Signif.?	
(1)	0,550%	0,998%	2,083%	4,515%	8,956%	-	-	-	-	-	-	-	-
a	0,447%	1,085%	2,432%	4,440%	1,608%	0,067%	5,38412E-06	1	5,38412E-06	30,49047	4,493998	SIM	
b	0,689%	1,376%	1,912%	1,011%	0,234%	0,010%	1,14075E-07	1	1,14075E-07	0,646011	4,493998	NÃO	
ab	0,396%	1,057%	2,528%	0,596%	-0,423%	-0,018%	3,72416E-07	1	3,72416E-07	2,109007	4,493998	NÃO	
c	0,808%	0,929%	0,396%	0,231%	-0,965%	-0,040%	1,94086E-06	1	1,94086E-06	30,99114	4,493998	SIM	
ac	0,567%	0,983%	0,616%	0,003%	0,000%	0,000%	3,33333E-13	1	3,33333E-13	1,89E-06	4,493998	NÃO	
bc	0,716%	1,292%	0,408%	-0,322%	-0,517%	-0,022%	5,57283E-07	1	5,57283E-07	3,155914	4,493998	NÃO	
abc	0,341%	1,236%	0,188%	-0,100%	0,205%	0,009%	8,7723E-08	1	8,7723E-08	0,496779	4,493998	NÃO	
d	0,587%	0,103%	-0,088%	-0,350%	0,075%	0,003%	1,16563E-08	1	1,16563E-08	0,06601	4,493998	NÃO	
ad	0,342%	0,292%	0,319%	-0,616%	0,415%	0,017%	3,58456E-07	1	3,58456E-07	2,029951	4,493998	NÃO	
bd	0,574%	0,241%	-0,054%	-0,220%	0,228%	0,010%	1,0868E-07	1	1,0868E-07	0,615461	4,493998	NÃO	
abd	0,410%	0,374%	0,057%	0,220%	-0,222%	-0,009%	1,02675E-07	1	1,02675E-07	0,581452	4,493998	NÃO	
cd	0,648%	0,244%	-0,189%	-0,406%	0,266%	0,011%	1,47408E-07	1	1,47408E-07	0,834779	4,493998	NÃO	
acd	0,644%	0,164%	-0,133%	-0,111%	-0,440%	-0,018%	4,04067E-07	1	4,04067E-07	2,288246	4,493998	NÃO	
bcd	0,710%	0,004%	0,080%	-0,056%	-0,296%	-0,012%	1,8204E-07	1	1,8204E-07	1,030901	4,493998	NÃO	
abcd	0,526%	0,184%	-0,181%	0,261%	-0,317%	-0,013%	2,09616E-07	1	2,09616E-07	1,187065	4,493998	NÃO	
Resíduos							2,82534E-06	16	1,76584E-07				

ANEXO I – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA PESQUISA

I.1 – Certificado de calibração da balança Ohaus GT 8000



End.: Rua José Ferreira Barros, 334
CEP: 81030-320 Bairro: Fanny
Cidade: Curitiba UF: PR
CNPJ: 02.214.049/0001-72
Fone/Fax: (41) 3347-6658
calibrapar@calibrapar.com.br

Certificado de Verificação Nº 6043

Cliente
INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

 Br 116 Km 98, S/N
Curitiba - PR

Dados do Equipamento

Equipamento	Balança de Precisão	Localização/Pat.	Laboratório/03475/BAL 013
Marca	Ohaus	Modelo	GT 8000
Série	6438	Capacidade/Div.	8.000 g/0,1 g

Método aplicado

Ensaio realizado conforme exigência da portaria 236/94 do INMETRO e NBR ISO/IEC 17025

Procedimento de Ensaio

PCT 090 - Conforme descrito no Manual da Qualidade - Revisão 18

Testes preliminares

Excentricidade	OK	Linearidade	Reprovado	Repetibilidade	OK
-----------------------	----	--------------------	-----------	-----------------------	----

Padrões Utilizados

Secundário 0079/0001 - 0003/0001 - 0034/0001 - 0006/0001 - 0007/0001 - 0008/0001 - 0009/0001 - 0011/0001 - 0012/0001 - 0013/0001 - 0005/0001

Os padrões primários foram calibrados por laboratório credenciado RBC

RESULTADOS (g)

INDICAÇÃO DO PADRÃO	INDICAÇÃO DO MENSURANDO				
	Antes	Erro	Depois	Erro	E.M.P.
5,0	5,0	0	5,0	0	±0,1
10,0	10,0	0	10,0	0	±0,1
20,0	20,0	0	20,0	0	±0,1
50,0	50,0	0	50,0	0	±0,1
100,0	100,0	0	100,0	0	±0,2
200,0	200,0	0	200,0	0	±0,2
500,0	500,1	0,1	500,0	0	±0,3
1.000,0	1000,1	0,1	1000,0	0	±0,3
2.000,0	2000,3	0,3	2000,0	0	±0,3
4.000,0	4000,7	0,7	4000,0	0	±0,3
6.000,0	5999,9	-0,1	6000,1	0,1	±0,3
8.000,0	8000,2	0,2	8000,2	0,2	±0,3

Incerteza das Medições ± 0,01 %

Condições Ambientais	Local da Calibração	Data do Ensaio
Temperatura 24,7 °C	No cliente	20/03/2008
Umidade Relativa 63 %		

Observações

A incerteza da medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k=2, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com nosso procedimento.

Indicação do Mensurando refere-se a antes e depois da calibração quando aplicável.

O resultado deste certificado refere-se exclusivamente ao instrumento submetido a verificação, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

E.M.P. Erro Máximo Permitido de acordo com portaria 236/94

A linearidade foi corrigida e após a calibração foi considerada OK, estando o equipamento APROVADO para uso.

Data da Emissão 08/04/2007

 Resp. Técnico
Atilio Hiri

É proibido a reprodução total ou parcial deste certificado

Página 1/1

I.2 – Certificado de calibração do cronômetro digital Technos Cronus

TECPAR**Divisão de Metrologia - Laboratório de Calibrações Elétricas****Rede Brasileira de Calibração****Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre/Inmetro de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 sob o nº 85 (tempo e frequência) e nº 104 (eletricidade)**

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 06004216

Cliente: Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
Endereço: Centro Politécnico UFPR – Curitiba-PR

1 MATERIAL ENTREGUE

Material: Cronômetro digital
Modelo: Cronus
Identificação: CRO-004, PAT 03466

Fabricante: Technos
Resolução: 0,01 s

Data de recebimento: 27/04/2006

2 MÉTODO UTILIZADO**2.1 Descrição**

A calibração foi executada com o disparo e corte manual do cronômetro através de estímulo audiovisual proporcionado pelo sinal de 1 pps do padrão de tempo e frequência.

2.2 Instrução de Trabalho Aplicada

- IT-LACE019 Calibração de cronômetros digitais e analógicos, revisão G, emitida em 17/06/2005.

2.3 Condições Ambientais

Temperatura ambiente: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$

Umidade relativa do ar: $(50 \pm 15)\%$

3 PADRÃO UTILIZADO

- Padrão de tempo e frequência HP, identificação LACE 15, modelo 5061A, número de série 2506A02480, certificado de calibração TECPAR LACE15-0306, emitido em 03/03/2006.

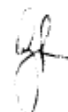
Este certificado atende aos requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.	
Data da calibração: 03/05/2006	Data do certificado: 04/05/2006
Técnico Executante CARLOS ALBERTO GONZALES FERNANDES Engenheiro Eletricista	Gerente do Laboratório GILBERTO PASSOS LIMA Engenheiro Ind. Eletricista
A reprodução deste certificado só poderá ser integral.	

4 RESULTADOS

Tempo de calibração (s)	V.V.C. (s)	V.I. (s)	Resultado de Medição			
			Erro (s)	Incerteza de medição (s)	Fator de abrangência k	Graus de liberdade efetivos ν_{eff}
60	60,000	60,01	0,010	0,040	2,00	>100
300	300,000	299,98	-0,020	0,047	4,53	2

- V.V.C. corresponde a estimativa do valor verdadeiro convencional;
- V.I. corresponde a estimativa do valor indicado pelo objeto sob calibração;
- A incerteza de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k especificado, o qual para uma distribuição t com ν_{eff} declarada, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ ♦



I.3 – Certificado de calibração do Paquímetro Universal Mitutoyo

TÊCPR*Divisão de Metrologia**Laboratório de Calibrações Mecânicas**Rede Brasileira de Calibração**Laboratório de Calibração Acreditado pelo CGCRE / INMETRO de acordo com a NBR ISO IEC 17025 sob o N° 106 em Dimensional***CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 07002340**

Página 1 de 2

Ciente: INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO - LACTEC.**Endereço:** Centro Politécnico - UFPR Curitiba - PR**1 MATERIAL ENTREGUE:**

Nome: Paquímetro
 Fabricante: Mitutoyo
 Modelo: Universal
 Tipo: Analógico
 Identificação: PQ-014
 Faixa de Indicação: (0 - 300) mm
 Menor divisão: 0,05 mm
 Data de Recebimento: 27/03/07



2 MÉTODO UTILIZADO

Instrução de trabalho para calibração de paquímetro IT-LACM012 Rev.K de 19/05/06. Calibração realizada por comparação com um padrão de dimensões fixas calibradas.

Temperatura ambiente: $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ Umidade relativa do ar: $(50 \pm 15)\%$ **3 PADRÃO UTILIZADO**

Calibrador de paquímetro MITUTOYO, modelo cerâmico, identificação LACM046, n° de série 520378, calibrado em 05/02/07, certificado de calibração n° 0247/07 CERTI / RBC.

Este certificado atende aos requisitos de acreditação do INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

Data de calibração: 29/03/07	Data do certificado: 29/03/07
Técnico Executante	Gerente Substituto do Laboratório
	
Luiz Antônio de Moraes	Sylvio Machado Jr.

A reprodução deste certificado só poderá ser integral.

TECPAR

Laboratório de Calibração Acreditado pelo CGCRE/TNMETRO sob nº 106
 Continuação do CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 07002340

Página 2 de 2

4 RESULTADOS

Medições Externas

Valor Verdadeiro Convencional (mm)	Valor Indicado (mm)
0,00	0,00
20,00	19,98
24,50	24,48
50,00	50,00
100,00	100,00
150,00	149,98
200,00	200,00
250,00	250,00
300,00	300,00

Medições Internas

Valor Verdadeiro Convencional (mm)	Valor Indicado (mm)
0,00	0,00
50,00	50,00

Incerteza de medição: 0,06 mm

Paralelismo das faces de medição para externos: $(0,05 \pm 0,02)$ mm

Paralelismo das faces de medição para internos: $(0,00 \pm 0,03)$ mm

Erro da haste de profundidade: $(0,00 \pm 0,03)$ mm

Erro do ressalto: $(0,00 \pm 0,03)$ mm

Obs.:

1) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2,5$ e qual, para uma distribuição t com $V_{eff} = 6$, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02;

2) A coluna do valor indicado corresponde à média de três leituras indicadas no paquímetro;

❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖

C:\Dim.Calc.xls

LAM

A reprodução deste certificado só poderá ser integral.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ

Rua Professor Aylton Munhoz Mader, 3775 - CIC - 81350-010 - Curitiba - Paraná - Brasil

Fone: 55 41 3316.3000 Fax: 55 41 3245.0844 - Site: www.tecpar.br - E-mail: tecpar@tecpar.br

I.4 – Certificado de calibração da haste padrão.

**LABORATÓRIO DE METROLOGIA**

RUA SOROCABA, 254 - FLORESTA - CEP 89212-210 - JOINVILLE - SANTA CATARINA
FONE/FAX : (47) 3426-1712 - I.E: 252.188.845 - CNPJ: 81.622.631/0001-44
E-mail: kel.lab@terra.com.br

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO SOB OS N° 065, 093 e 266)
LABORATÓRIOS DE METROLOGIA DIMENSIONAL, PRESSÃO, TEMPERATURA E UMIDADE



Emissão:

11/05/2006

Certificado de calibração n°: J167340/2006**1 - Dados do Instrumento :**

Instrumento: HASTE PADRÃO
Solicitante: INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO
Endereço: CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR CURITIBA PR
Fabricante: NÃO CONSTA **Ordem de serviço:** 30178
Código: H-01 **Valor Nominal:** 294,87 mm
Data recebimento: 04/05/2006 **Data Calibração:** 09/05/2006

2 - Procedimento :

A calibração foi realizada conforme procedimento KL 00241 revisão 004, em dois ciclos de medição. A haste foi calibrada na posição horizontal, sendo apoiada em dois pontos a 0,22L das extremidades. Padrões utilizados: Máquina de medição longitudinal marca Joint modelo DMS 690 certificado 4357/05 CERTI, válido até 09/2007 e Bloco Padrão certificado 0435/05 CERTI, válido até 11/2006. Temperatura de 20±1°C e umidade relativa do ar entre 50 e 65%.

"Este certificado atende os requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida."

3 - Tabela de Resultados :

Unidade mm

COMPRIMENTO EFETIVO:	VARIAÇÃO DIMENSIONAL:
294,8697	+ 0,0000 - 0,0000

Incerteza de medição: $U = [1,0 + (L/1000)] \mu m$ onde L = Comprimento em mm

4 - Notas :

- * Comprimento efetivo : Média das medidas obtidas nas 5 posições das faces de medição.
- * Variação Dimensional : maior e menor medida obtida em relação ao comprimento efetivo .
- * "A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2,00$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95% . A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02 ."


ALGIONE JOSÉ CERCAL
GERENTE DA QUALIDADE

Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado descrito nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares.
A reprodução deste certificado só poderá ser integral e depende da aprovação, por escrito, do laboratório emissor.

Pág. 1 / 1

I.5 – Certificado de calibração do relógio comparador digital

**LABORATÓRIO DE METROLOGIA LTDA**

RUA SÉRGIOPE, 113 - BONECA DO IGUAÇU - CEP 83-040-120 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PARANÁ

FONE/FAX : (41) 3382-7666 • INSCR. EST. 903.031.03-46 • CNPJ 06.160.041/0001-21

E - mail : kel2.lab@terra.com.br

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO SOB OS N° 144 e 179.)

LABORATÓRIOS DE METROLOGIA DIMENSIONAL E FORÇA

**Certificado de calibração nº: S181930/2007**

Emissão

29/01/07

Instrumento: RELÓGIO COMPARADOR MILESIMAL
Solicitante: INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
Endereço: RUA CORONEL DULCÍDIO 800 CURITIBA PR
Fabricante: MAHR
Código: REL-039 **Ordem de serviço:** 29535
Resolução /
Valor de uma divisão: 0,001 mm **Faixa de indicação:** 0,000 a 12,700 mm
Data de recebimento: 23/01/07 **Data de Calibração:** 29/01/07
Procedimento:

A CALIBRAÇÃO FOI REALIZADA CONFORME PROCEDIMENTO KL00210, REVISÃO 002. PADRÃO UTILIZADO: DISPOSITIVO SYLVAC 80 CERTIFICADO 2792/05 CERTI, VÁLIDO ATÉ 06/2007. TEMPERATURA DE 20±1°C E UMIDADE RELATIVA DO AR ENTRE 50 E 65%.

"Este certificado atende os requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida."

Resultados:

Indicação	Erro de Indicação		fu (HISTERESE)
	Avanço	Retorno	
0,00	0,0000	0,0004	0,0004
0,10	0,0003	0,0000	0,0003
0,20	0,0001	0,0000	0,0001
0,30	0,0007	0,0003	0,0004
0,40	-0,0004	-0,0002	0,0002
0,50	-0,0002	-0,0006	0,0004
0,60	-0,0006	-0,0008	0,0002
0,70	-0,0010	-0,0007	0,0003
0,80	-0,0006	-0,0002	0,0004
0,90	-0,0008	-0,0012	0,0004
1,00	-0,0006	-0,0016	0,0010
1,10	-0,0006	-0,0007	0,0001
1,20	-0,0001	-0,0010	0,0009
1,30	-0,0008	-0,0010	0,0002
1,40	-0,0006	-0,0004	0,0002
1,50	-0,0010	-0,0013	0,0003
1,60	-0,0007	-0,0009	0,0002
1,70	-0,0005	-0,0014	0,0009

Unidade: mm


 ROSA CAMPARIM RIOS
 GERENTE TÉCNICO

Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado descrito nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares.
 A reprodução deste certificado só poderá ser integral e depende da aprovação, por escrito, do laboratório emissor.

Pág. 1 / 3


LABORATÓRIO DE METROLOGIA LTDA

RUA SERGIPE, 113 - BONECA DO IGUAÇU - CEP 83-040-120 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PARANÁ

FONE/FAX : (41) 3382-7666 - INSCRI. EST. 903.031.03-46 - CNPJ 06.160.041/0001-21

E - mail : kel2.lab@terra.com.br

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO SOB OS N° 144 e 179)

LABORATÓRIOS DE METROLOGIA DIMENSIONAL E FORÇA



Emissão:

29/01/07

Certificado de calibração n°: S181930/2007

Resultados:

Indicação	Erro de Indicação		fu (HISTERESE)
	Avanço	Retorno	
1,80	-0,0007	-0,0010	0,0003
1,90	0,0006	-0,0008	0,0014
2,00	-0,0012	-0,0016	0,0004
2,50	-0,0011	-0,0013	0,0002
3,00	-0,0012	-0,0011	0,0001
3,50	-0,0002	-0,0008	0,0006
4,00	-0,0009	-0,0012	0,0003
4,50	-0,0004	-0,0009	0,0005
5,00	-0,0009	-0,0011	0,0002
6,00	-0,0013	-0,0012	0,0001
7,00	-0,0017	-0,0016	0,0001
8,00	0,0001	-0,0005	0,0006
9,00	-0,0004	-0,0003	0,0001
10,00	0,0006	0,0005	0,0001
11,00	0,0010	0,0010	0,0000
12,00	0,0008	0,0006	0,0002

Unidade: mm

Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado descrito nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares.
A reprodução deste certificado só poderá ser integral e depende da aprovação, por escrito, do laboratório emissor.

Pág. 2 / 3



LABORATÓRIO DE METROLOGIA LTDA

RUA SERGIPE, 113 - BONECA DO IGUAÇU - CEP 83.040-120 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PARANÁ

FONE/FAX : (41) 3382-7686 - INSCR. EST. 903.031.03-46 - CNPJ 06.160.041/0001-21

E-mail : kel2.lab@terra.com.br

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO SOB OS N° 144 e 179)

LABORATÓRIOS DE METROLOGIA DIMENSIONAL E FORÇA



Certificado de calibração n°: S181930/2007

Emissão:

29/01/07

Parâmetros	fw: 0,0002 mm	fu: 0,0014 mm
	fe: 0,0027 mm	fges: 0,0027 mm

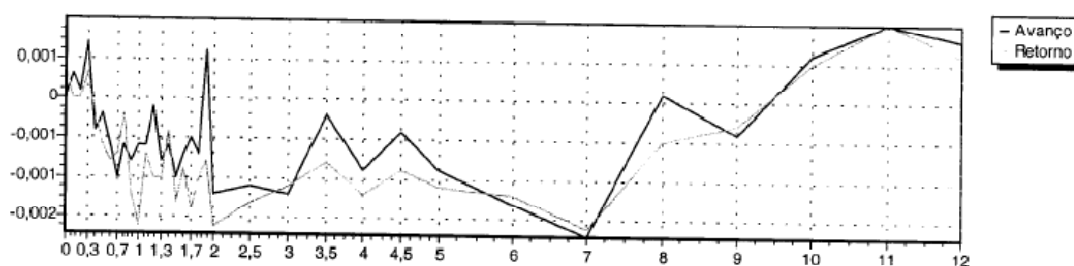
Incerteza de medição: $U = 0,0030$ mm

Incerteza dos Parâmetros: $U = 0,0042$ mm

"As incertezas de medição (U) declaradas são baseadas em uma incerteza padrão combinada multiplicada por um fator de abrangência $k = 2$ para um nível de confiança de aproximadamente 95%."

- Obs:
- Indicação = Valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição.
 - Erro de Indicação = Indicação de um instrumento menos o valor obtido no padrão.
 - fw = Diferença de leitura num mesmo ponto de escala.
 - fu = Diferença máxima do avanço e retorno num mesmo ponto da escala
 - fe = Diferença entre os erros de indicação máximo e mínimo no avanço da haste.
 - fges = Diferença entre os erros de indicação máximo e mínimo no avanço e retorno da haste.

Gráfico de Linearidade



Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado descrito nas condições específicas; não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares.
A reprodução deste certificado só poderá ser integral e depende da aprovação, por escrito, do laboratório emissor.

Pág. 3 / 3

I.5 – Certificado de calibração do termohigrômetro Minipa MTH-1360



LABORATÓRIO DE METROLOGIA
 RUA SOROCABA, 254 - FLORESTA - CEP 89212-210 - JOINVILLE - SANTA CATARINA
 FONE/FAX: (47) 3426-1712 - INSCR. EST. 252.188.845 - CNPJ 81.622.631/0001-44
 E - mail: kel.lab@terra.com.br Home Page: www.kellab.com.br
 REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (ACREDITADO PELA CGCRE/INMETRO SOB O N° 065)
 LABORATÓRIOS DE METROLOGIA DIMENSIONAL, PRESSÃO, TEMPERATURA E UMIDADE

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° J206195/2007**
 Emissão
 30/03/07

1. Dados do Instrumento: TERMOHIGRÔMETRO
Solicitante: LACTEC - INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO
 CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR CURITIBA - PR
Fabricante: MINIPA
Código/n° série indicador: 03476 **Modelo indicador:** MTH-1360
Código/n° série sensor: *** **Modelo sensor:** ***
Valor de uma divisão: 0,1 °C **Tipo de Indicação:** Digital
 0,1 % UR **Ordem de serviço:** 35527
Faixa de Indicação: 0 a 50 °C **Data de recebimento:** 21/03/2007
 0 a 100 % UR **Data de calibração:** 30/03/2007

2. PROCEDIMENTO:

A CALIBRAÇÃO FOI REALIZADA CONFORME PROCEDIMENTO KL 00484, REVISÃO 003, POR COMPARAÇÃO EM UM MEIO TERMOSTÁTICO COM HOMOGENEIDADE CONHECIDA. PADRÕES UTILIZADOS: TERMORESISTÊNCIA PT100 CERTIFICADO 2351/08 ECIL, VÁLIDO ATÉ 05/2007; MULTÍMETRO HP 6 ½ DÍGITOS CERTIFICADO 1123/06 YOKOGAWA, VÁLIDO ATÉ 06/2007; HIGRÔMETRO CERTIFICADO T0811/2006 LABELO, VÁLIDO ATÉ 06/2007. TEMPERATURA DE 23±5°C E UMIDADE RELATIVA DO AR MÁXIMA DE 75% UR.

3. TABELA DE RESULTADOS

Unidade: °C

MÉDIA DAS LEITURAS - SMC	MÉDIA DAS LEITURAS - SMP	DESVIO	INCERTEZA DE MEDIÇÃO (±)
15,1	15,0	0,1	0,4
25,6	25,5	0,1	0,4
39,8	39,6	0,2	0,4

Unidade: % UR

MÉDIA DAS LEITURAS - SMC	MÉDIA DAS LEITURAS - SMP	DESVIO	INCERTEZA DE MEDIÇÃO (±)
36,2	36,5	-2,3	2,3
61,2	60,2	1,0	2,3
91,6	89,7	10,9	2,3

4. NOTAS

- * Este certificado atende os requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, a qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- * A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada multiplicada por um fator de abrangência $k=2$, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.
- * Os valores de temperatura apresentados estão baseados na escala internacional de temperatura de 1990.
- * Erro de medição: Média das leituras obtidas no SMC menos a média das leituras obtidas no SMP (V.V.C.).
- * SMP: sistema de medição padrão.
- * SMC: sistema de medição a calibrar.
- * Os resultados apresentados somente são válidos para as condições descritas neste certificado.
- * A calibração em umidade relativa foi executada com temperatura fixa em 20°C.

ALCIONE JOSE CERCAL
 GERENTE DA QUALIDADE

Este certificado é válido exclusivamente para o objeto calibrado descrito nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares. Não é permitida a reprodução deste certificado, somente original.

Pg 1/1

I.1 – Certificado de calibração do termômetro digital Gulton com haste de imersão



VISOMES COMERCIAL METROLÓGICA LTDA

LABORATÓRIO DE METROLOGIA - VISOMES

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

NR CERTIFICADO: LV 6473/06



1) DADOS

CONTRATANTE: INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO - LACTEC
 ENDEREÇO: Rodovia BR 116 - S/N° - Km 98 - CENTRO POLITECNICO DA USPR - Jardim das Américas ()
 INTERESSADO: O MESMO
 MATERIAL CALIBRADO: TERMÔMETRO DIGITAL
 DATA DA CALIBRAÇÃO: 03/07/2006
 MARCA: GULTON
 FAIXA DE INDICAÇÃO: -30 à 180 °C
 VALOR DE UMA DIVISÃO: 0,1 °C
 NR. CONTROLE: TER - 042
 LOCAL DA CALIBRAÇÃO: VISOMES

TIPO DO SENSOR: TERMORRESISTENCIA
 NR. ORDEM DE SERVIÇO: 01785/06
 DIÂMETRO DO SENSOR: 3 mm
 COMPRIMENTO DO SENSOR: 180mm
 ISOLAÇÃO DOS ENSOR: MINERAL
 CONDIÇÕES AMBIENTAIS: 23±5°C / max 75 %ur

2) PADRÕES UTILIZADOS

- Termoresistência padrão - LT-218, certif. n° CR-1148/05; calibrado em: 30/03/2005, laboratório: CONSISTEC validade: 30/03/2007 rastread.: RBC
 - Banho de Gelo
 - Multímetro digital - LT-102-1kOhm, certif. n° 0879/04; calibrado em: 28/07/2004, laboratório: YOKOGAWA validade: 31/07/2006 rastread.: RBC
 - Termoresistência padrão - LT-228, certif. n° CR-1634/06; calibrado em: 30/03/2006, laboratório: CONSISTEC validade: 30/03/2008 rastread.: RBC

3) PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

A calibração foi realizada por comparação com um padrão em um meio termostático com homogeneidade conhecida e expressão a média de três leituras.

INSTRUÇÃO DE TRABALHO UTILIZADA: ILT-019 Rev. 10

4) RESULTADOS

Temperatura Referência V.V.C. (°C)	Média das Leituras (°C)	Erro (°C)	Profundidade de Imersão em (mm)	Coefficiente abrangência k	Incerteza de Medição (°C)
0,00	0,00	0,00	170	2,00	0,15
15,02	14,80	-0,22	170	2,00	0,15
20,06	19,70	-0,36	170	2,00	0,15
29,88	29,30	-0,58	170	2,00	0,15
65,15	64,40	-0,75	170	2,00	0,15
75,19	74,60	-0,59	170	2,00	0,15
80,00	79,60	-0,40	170	2,00	0,15
99,86	100,00	0,14	170	2,00	0,15
110,23	110,50	0,27	170	2,00	0,15
129,97	130,40	0,43	170	2,00	0,15

5) OBSERVAÇÕES

- Os valores de temperatura apresentados estão em conformidade com a Escala Internacional de Temperatura de 1990.
- A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada por um fator de abrangência k, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.
- Este certificado atende aos requisitos da acreditação do CGCRE/INMETRO, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- O presente certificado refere-se exclusivamente ao termômetro calibrado, sendo proibida sua reprodução parcial.
- Erro = Média das leituras - temperatura de referência (V.V.C. = Valor verdadeiro convencional).

EXECUTANTE: DIEGO MURARI

Ricardo Mendes
 Signatário Autorizado

RODOVAL R. FILHO

GERENTE TÉCNICO DO LABORATÓRIO

CREA N°: 5061684611

Rua Ângelo Santi, 155 - Vila Friburgo - Cep 04776-170 - São Paulo - SP - (11) 5666 8880

Página 1/1